

# **Factores que afectan la construcción de alcantarillado sanitario para la Constructora Fernández Vaglio S.A.**



# Abstract

The work presented below is based on the determination of factors that affect the construction of a sanitary pipeline project, to propose tools and methods to be able to reduce the elements identified to the maximum. To locate the factors to be corrected, a control sheet was implemented, which was filled daily by the construction masters and in this way the affectations that occurred were recorded. Once the most frequent factors are known, proposals for improvement are made under the Lean Construction philosophy, which seeks to work more efficiently and use only the resources that are completely necessary.

The data shows that there are activities that are not being worked in the right way, which is why they are generating cost overruns and arrears. In addition, with the review of the schedule and the cash flows it is visualized as there is a delay in production, so corrective measures must be taken.

At the end of the project, it is determined that to improve the processes there must be field inspection by the project engineers to know if the work is being carried out properly. Also, that a planning that integrates all the work team is a useful methodology for the development of projects

**Key Words:** Factors, construction, control, cost overruns, arrears, improve, processes.

# Resumen

El trabajo que aquí se presenta se basa en la determinación de factores que afectan la construcción de un proyecto de tubería sanitaria, para proponer herramientas y métodos con el fin de poder reducir los elementos identificados. Para ubicar los factores a corregir se implementó una hoja de control, que fue llenada diariamente por los maestros de obras y de esta manera se registraron las afectaciones ocurridas. Una vez conocidos los factores más frecuentes se procede a realizar propuestas de mejora bajo la filosofía Lean Construction que busca trabajar de manera eficiente y usar solo los recursos que son completamente necesarios y Six Sigma que persigue la reducción de errores en los procesos.

Los datos muestran que existen actividades que no están siendo trabajadas de la manera correcta por lo que se están generando sobrecostos y atrasos. Además, con la revisión del cronograma y los flujos de dinero se visualiza como hay un retraso en la producción por lo que se deben tomar medidas correctivas.

Al final del proyecto se determina que para mejorar los procesos debe existir inspección en campo por parte de los ingenieros del proyecto con el fin saber si se está realizando el trabajo de forma adecuada. También se concluye que una planificación que integre todo el equipo de trabajo es una metodología útil para el desarrollo de proyectos.

**Palabras Clave:** Factores, construcción, control, sobrecostos, atraso, mejora, procesos.

# **Factores que afectan la construcción de alcantarillado sanitario para la Constructora Fernández Vaglio S.A.**

# **Factores que afectan la construcción de alcantarillado sanitario para la Constructora Fernández Vaglio S.A.**

LUIS ROBERTO COTO CHINCHILLA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO .....	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	5
MARCO TEÓRICO .....	7
METODOLOGIA.....	15
RESULTADOS.....	18
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	49
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS .....	55



# Prefacio

Actualmente la mejora constante de los procesos es fundamental en las aspiraciones de una empresa que quiere seguir siendo competitiva dentro del mercado en la que se desarrolla. El campo de la construcción no se excluye de esto y por la naturaleza en la que se desenvuelve existen siempre factores que generan dificultades para trabajar. Estas dificultades se ven reflejadas en afectaciones al presupuesto, cronograma o en la calidad de los productos a entregar.

La eliminación de todos los elementos que perjudican la construcción lleva a la organización a ser una empresa competitiva y eficiente. Para que esto se logre es preciso primero identificar todo aquello que no permita la continua ejecución de una obra. Este se pretende que sea una herramienta para la mejora continua de los procesos.

Existen tesis o proyectos de graduación que se centran en la ubicación de factores que afectan algunos procesos constructivos, pero ninguno de ellos se desarrolla en la construcción de obras hidráulicas.

El objetivo del presente proyecto es la ubicación de los factores que está afectando el cronograma y presupuesto en un proyecto de construcción de tubería sanitaria. A partir de estos factores se brindarán a la empresa propuestas para reducirlas al mínimo.

Para finalizar, se agradece a al ingeniero Map. Miguel Atavía Alvarado por su tiempo, dedicación y guía durante el desarrollo de este proyecto. A la empresa Fernández Vaglio SA por permitirme desarrollar el proyecto en una de sus obras, a los ingenieros Raúl Fernández, Josser de la O, Miriam Rodríguez y Renán Cervantes por su guía y atención en las dudas surgidas

durante la ejecución del proyecto. A mi familia por todo el apoyo durante toda esta etapa.

# Resumen ejecutivo

El tema que se analizó dentro de esta práctica de graduación es de suma importancia dentro del campo de la construcción debido a que la mejora continua de los procesos que se desarrollan son la base para mantenerse dentro de un mercado que cada día es más competitivo. El objetivo de cualquier empresa privada es el generar utilidades con la menor cantidad de recursos posibles por lo que la constante identificación de elementos que estén afectando los proyectos nunca debería dejar de realizarse y de igual manera buscar métodos de optimización. Además, dentro de las obras civiles, es fundamental el llevar un control de verificación de cuanto se está gastando en las actividades y cuanto están generando de manera que haya una contabilización de las utilidades o implementar acciones correctivas en caso de ser necesario.

Los objetivos de esta práctica fueron la evaluación del proyecto sobre el cual se está trabajando. Revisar el estado en el que se encuentra la obra tanto en presupuesto como en cronograma, para a partir de esto identificar cuales factores están afectando el proceso constructivo de las actividades. Proponer soluciones a los factores identificados con el fin de tener un plan para la mejora continua de los procesos.

La evaluación del proyecto se logró por medio de reuniones con los encargados del proyecto, ya sean los ingenieros de campo, los de oficina y el gerente del proyecto. Esto en conjunto con inspecciones en campo de las diferentes actividades que se está estudiando. Para determinar el estado del proyecto se revisaron los estados del proyecto y los flujos de dinero de los meses anteriores, además se realizó un control de las actividades. Para esto se

desarrolló una herramienta, la cual fue una hoja de registro de trabajo diario con la que se recolectó información de la cantidad de recursos y de los incidentes que ocurrían diariamente. Con esto se definió el camino que llevaba el proyecto y de los factores que afectan la obra.

Estos factores se contabilizaron con inspecciones a campo y con los registros diarios. Por medio de diagramas de Pareto se identificaron cuáles son los que generaban la mayor cantidad de sobre costo y atrasos. Se realizó investigación sobre buenas prácticas y se realizaron propuestas sobre los factores que generaban con mayor frecuencia.

El proyecto consiste en la colocación de alcantarilla sanitaria, que pretende conectar diferentes zonas de San José como, Moravia, Ipis, Purral, Sabanilla, Pavas, Guadalupe y Coronado con la planta de tratamiento de Los Tajos. Se definieron tres actividades principales y bajo las cuales se tienen los rubros de pago. Estas son colocación de línea de tubería en sus dos modalidades, reemplazo cuando ya existe un sistema en funcionamiento y refuerzo cuando se va a construir la red de cero. Colocación de estructura de pavimento que incluye 15 cm de una sub-base de lastre compactado, 15 cm de base estabilizada y 5 cm de carpeta de pavimento. Por último, colocación de pozos de registro que se coloca al final cuando ya la línea está aprobada y se haya terminado de pavimentar.

El análisis sobre el proyecto muestra que existe un atraso sobre como el cronograma. Otro indicador de atraso fue que la producción no ha alcanzado los números esperados.



Una vez que se obtuvo esto se prosiguió con el análisis de las actividades individualmente donde resultó que estas generaban pérdidas, por lo que inició una recolección de datos para contabilizar cuáles de estos ocurrían con mayor frecuencia. Primero se definieron posibles causas en Diagramas de Ishikawa y posteriormente conociendo su frecuencia se graficaron en Diagramas de Pareto.

Esto sirvió para determinar la realidad y el estado de las actividades y las causas que no permiten que estas se desarrollen de manera normal. Conociendo cuáles eran los factores que más afectaban los procesos, se realizó una investigación de buenas prácticas constructivas y con la filosofía LEAN, se realizan propuestas para la mejora de los procesos.

Al final se llegó a la conclusión de que el adecuado manejo de los recursos es la base para poder desarrollar un proyecto de la mejor manera. Esto se puede alcanzar por medio de controles de inspección y de una planificación en conjunto donde se integre a todos los actores.



# Introducción

La identificación de factores que afecten directamente los costos y los plazos de entrega de una obra civil es la base para alcanzar los objetivos planteados. Para alcanzar dicho objetivo se debe conocer el estado del proyecto y los procesos constructivos que se llevan a cabo. Por lo que este sirve como indicador de cuál es el curso que está tomando el proyecto, ya sea el planificado o si este se está desviando, reflejándose en sobrecostos y atrasos. A raíz de esto se pueden realizar las correcciones en el tiempo adecuado y preciso para poder encaminar de nuevo el proyecto. Estas propuestas de mejora pueden ser tanto a nivel de método constructivo como métodos para control de obra, ya sea en recursos o monitoreo del trabajo.

El control de obra no solo es funcional para determinar el rumbo del proyecto, sino, sirve para mantener registro histórico de los proyectos para que esta información pueda aplicarse en proyectos similares y de esta manera ver qué aspectos se han descuidado y en cuales se ha mejorado. Además, es una ventaja competitiva ya que para futuras licitaciones se tiene conocimiento de proyectos anteriores. Por otro lado, las mejoras constructivas, son beneficiosas tanto en tiempo, costo y calidad y pueden seguir siendo usadas para mejorar proceso en otros proyectos. Para alcanzar esto hay que tomar en cuenta que se debe cambiar la mentalidad de una empresa y además debe estar conscientes de que deber haber cambios para mejorar y crecer como empresa.

Surge así esta práctica dirigida que busca analizar la situación en la que se encuentra el proyecto, "Construcción del Sistema de Colectores Sanitarios del Sector Norte, Cuencas Rivera y Torres, Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José. Quebrada Jesús, Quebrada Manzana y Desvíos", para posteriormente ubicar deficiencias que afectan el

desarrollo de la obra y determinar soluciones que puedan ser aplicadas a futuros proyectos.

El mencionado proyecto es desarrollado por la empresa Fernández Vaglio Constructora S.A, que se dedica a la instalación de obras hidráulicas. Los proyectos en su mayoría son licitaciones públicas, por lo que se debe trabajar con entidades del gobierno, esto lleva a que el control de obra sea primordial por los cambios que existen durante toda la vida del proyecto. Específicamente en este caso, el alcance se varió en ciertas ocasiones, además ocurrieron imprevistos por la falta de conocimiento del cliente, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), de la existencia de tuberías en los lugares donde se iba a realizar la zanja para la colocación de la tubería.

El proyecto "Construcción del Sistema de Colectores Sanitarios del Sector Norte, Cuencas Rivera y Torres, Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José. Quebrada Jesús, Quebrada Manzana y Desvíos" es la licitación pública internacional N°. 2016LI-000008-PRI, del AyA. Consiste en recolectar las aguas sanitarias del Área Metropolitana de San José y llevarlas a la Planta de Tratamiento Los Tajos. Evitando que el agua sanitaria llegue las Cuencas y Rivera que desembocan en el Río Virilla. Este se divide en dos, Obra 7 y Obra 8, en el caso de Obra 7 se trabaja con la modalidad de zanja abierta, mientras que Obra 8 se trabaja con tubería hincada (Pipe Jacking), esto con la máquina Bohrtex. Para el desarrollo de esta práctica se analiza Obra 7 ya que aquí era donde más se podía encontrar deficiencias en el proceso constructivo, se analizaron actividades como colocación de estructura de pavimento, colocación de pozos y colocación de tubería, además de procesos externos como el manejo de las bodegas o el proceso de licitación.

Para lograr desarrollar la práctica se plantearon los siguientes objetivos:

## **Objetivo general.**

-Determinar factores que afecten programación y presupuesto por medio de un control y monitoreo de obra sobre un proyecto de construcción de captación de aguas sanitarias.

## **Objetivos específicos.**

-Analizar la situación actual del proyecto en relación con los costos y programación.

- Identificar los factores que generen afectación en el proyecto.

- Proponer un plan de implementación acciones correctivas para la mejora de los procesos identificados como afectados.

# Marco Teórico

Un proyecto de ejecución de una obra civil nace a partir de una idea o una necesidad, estos son desarrollados por empresas que buscan obtener la mayor cantidad de ganancias sin dejar de lado, las especificaciones con las que se debe entregar el producto final. A partir de esto debe de existir un balance entre calidad, costo y alcance. Cada vez que se tome una decisión en uno de los aspectos afectara al otro, esto se puede ver como un triángulo, si alguno de sus lados es modificado, los otros dos cambiarán de alguna manera. Para lograr el equilibrio, se deben realizar controles rutinarios y de ser necesarios cambiamos conforme se avanza en el proyecto.

Para el caso de un proyecto de interés público, se hace con el fin de satisfacer la necesidad de una población o comunidad, por lo que la entidad pública encargada de promover el proyecto busca desde el financiamiento hasta los medios para poder llevar a cabo la obra. En muchos casos, debido a que no cuentan con los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, se ven obligadas a contratar una empresa privada. Para esto se publica un cartel de licitación, aquí se dan las especificaciones y las empresas interesadas pueden concursar por ganar la construcción de la obra.

## Contrato por Costos Unitarios.

Este tipo de contrato se basa en el desglose de costos unitarios establecidos en un presupuesto de la obra. El cliente hará el pago según el consumo real, en este tipo de contratos es factible que exista un adelanto.

Tiene como ventaja que, si se llegara a detener el proyecto, es sencillo calcular el pago que se deba hacer a la fecha. Por el otro lado, como desventaja, para el cliente, que debe existir supervisión e inspección, además de control sobre el consumo de materiales.

## Presupuesto.

Un presupuesto en términos generales es una estimación que se realiza con el fin de conocer el costo aproximado tanto en gastos como ingresos de una actividad en específico. En obras civiles este se refiere a la elaboración del costo de una obra a partir de cantidades y de precios unitarios. Tiene diferentes funciones como parámetro para la elaboración de contratos, realización de ofertas y control de costos. El presupuesto está integrado por los costos directos y costos indirectos:

- **Costos Directos:** Son todos aquellos costos que son estrictamente necesarios para poder llevar a cabo la obra, dentro de este se encuentran materiales, equipos, mano de obra tanto especializada como no especializada pero necesaria para alcanzar el producto final.
- **Costos Indirectos:** Son los costos administrativos que se generan tanto en oficina como en el sitio, estos se visualizan dentro del presupuesto como un porcentaje de los costos directos, entre los factores que se incluyen dentro de estos son, gastos de servicios básicos, alquileres, mantenimiento, sueldos de profesionales, gastos de papelería, impuestos municipales, entre otros aspectos.

- **Imprevistos:** Es un porcentaje del costo total de la obra o se puede hacer por paquete de actividades que pretende cubrir todos aquellos gastos que no fueron contemplados en el presupuesto o que se pudieron presentar durante el transcurso de la obra.
- **Utilidad:** Es la ganancia que se le debe pagar al ejecutor de la obra. Se puede incluir como un porcentaje de todos los costos unitarios. La utilidad se puede definir según el grado de dificultad, técnica, localización, plazo y magnitud.

## Cronograma de Trabajo.

El cronograma de trabajo en una obra civil es la forma gráfica en la que se representan de manera desglosada las actividades requeridas para la construcción del proyecto. Permite conocer la interrelación y secuencia a lo largo del proyecto. Se establecen las fechas de inicio y finalización de las actividades y así identificar cual es la ruta crítica del proyecto. Sus funciones principalmente son conocer el estado de las actividades, brindar información como el curso del proyecto, fechas claves dentro de la programación, flujo de caja y la distribución de los recursos. Es muy común que se represente con el Diagrama de Gantt.

- **Ruta Crítica:** Todas aquellas actividades que son fundamentales para terminar el proyecto en el tiempo que se planifico, a estas actividades por separado se le llama actividades críticas y en caso de que exista un atraso en ellas afectaran al proyecto.
- **Diagrama de Gantt:** Es un sistema de coordenadas donde el eje de las ordenadas está compuesto por las actividades y el eje de las abscisas los tiempos. Este resulta útil en la gestión de proyectos ya que permite planificar tareas a lo largo de un periodo definido y muestra la interrelación existente entre ellas.

- **Holgura Total:** Es el tiempo que una actividad se puede atrasar sin afectar el cronograma del proyecto. Toda tarea que tenga una holgura libre igual a cero es considerada una tarea critica.
- **Holgura Libre:** Es la que supone que todas las tareas deben iniciar con su inicio más pronto.
- **Holgura de seguridad:** Es la que supone que todas las tareas inician en la fecha más lejana posible.

## Alcance.

El alcance de un proyecto consiste en hasta donde se debe llegar con las tareas, este debe estar definido tanto por el contratista como por el contratante. El alcance se puede ver como la culminación de los objetivos a los que se espera llegar. Todas las actividades que estén fuera de estos objetivos quedan excluidas del alcance del proyecto y deberán verse como un nuevo proyecto o como la ampliación del alcance, pero este debe ser negociado con el contratante. Existen diversas maneras de definir el alcance de un proyecto:

- **Descripción con texto en el contrato:** Definir en prosa las actividades que corresponden al contratista, esta debe ser concisa, directa y lo más clara posible para que se sepan cuáles son las responsabilidades de cada uno. Un aspecto importante es también redactar lo que no compete al alcance para que de esta manera no existan confusiones.
- **Matriz de Responsabilidades:** Esta se encarga de mostrar quien es responsable de cada actividad dentro del proyecto. En esta se definen roles y se construye una matriz donde se colocan actividades es un eje y personas en otros y se empieza a definir el rol de cada una dentro de las tareas analizadas.

# Calidad.

La calidad es el cumplimiento de las especificaciones del consumidor o cliente y esta se evalúa a partir de pruebas o la comparación con estándares previamente definido. Para asegurar que se cumplió con la calidad solicitada las pruebas que la evalúan deben dar resultados iguales o mejores a los definidos.

En construcción por lo general la calidad del producto final es definida por la calidad de la materia prima o de la mano de obra. A raíz de esto se vuelve necesario calibrar equipos, especializar al personal o también visitar proveedores y subcontratistas para evaluar su capacidad para el proyecto.

## Control General de Obra.

El control de obra es la recolección de información real del desempeño de los encargados del proyecto, tanto para costos como para programación y compararlo con la planificación inicial y en caso de requerir acciones correctivas, identificar cuáles serían estas. Además, abarca el manejo de recursos, con el fin de sacar el máximo provecho, reduciendo sobrecostos y atrasos. La clave para el control eficaz de un proyecto es medir el avance real y compararlo oportuna y regularmente con el avance planeado, y emprender de inmediato cualquier acción correctiva (Gido & Clements, 2012).

La función del control es balancear los tres aspectos de los proyectos (costo, tiempo y alcance). Además, para que este sea eficaz se debe haber un plan para hacerle frente a posibles problemas e imprevistos.

El control de la obra va de la mano con la identificación de las circunstancias que están afectando al proyecto, esto pueden venir de problemas con la entrega de materiales, baja productividad de los trabajadores, fallos mecánicos de los equipos necesarios para la actividad, entre muchos más. Aquí es donde se debe llevar un monitoreo más exhaustivo de

estas sin descuidar otras actividades en las que si se ha estado trabajando mejor

El control se puede dividir en tres actividades principales:

- Inspección de actividades: Este es independiente para cada actividad, es básicamente revisar en campo el estado en la que se encuentra la actividad y la manera en la que esta se realiza. A partir de esto definir en qué porcentaje de avance se encuentra y poder realizar el cálculo para conocer cuántos recursos se han utilizado y la cantidad de dinero que esta haya consumido y así tener toda la información necesaria para la siguiente fase.
- Comparación entre real y planificado: Esta se basa en comparar la información recopilada en la actividad anterior y compararlo con lo que se tenía planificado cuando se realizó la programación y presupuesto inicial del proyecto. Con este ejercicio se puede llegar a conclusiones sobre el estado del proyecto, además se debe hacer el análisis para ver si la actividad con afectaciones es crítica y está afectado el cronograma del proyecto o en caso de tener holgura libre si esta es superada o no por el retraso. Otra verificación, es si en caso de haber requerido más recursos que los planeados ver a que otra actividad se le está afectando y determinar cuánto afecta esto el presupuesto.
- Aplicación de acciones correctivas: Se debe analizar porque esta sucediente todos los problemas. Una vez ubicados, los encargados pueden buscar la forma de volver enrumbar el proyecto en la línea correcta. Para esto se debe analizar que medidas se implementan teniendo en cuenta se debe buscar de nuevo el balance entre costo, tiempo y alcance.

Lo comentado es en cuanto al control de las actividades dentro del proyecto, pero también debe existir un control sobre los materiales,

equipos y mano de obra del proyecto. Estos también se deben programar y al igual que con las actividades analizar si se están usando en el tiempo esperado o si se está usando la cantidad planificada. Además, el manejo de un inventario dentro del proyecto es fundamental para poder asegurar trabajo en todo momento.

Para el manejo de la obra el PMBok define procedimientos para la gestión de los aspectos que requieren control de la obra.

## Control de Costos.

El control de costos debe realizarse en cada una de las fases del proyecto, y forma parte de la dirección del proyecto, este se hará más detallado según lo solicite el proyecto. Se divide en tres fases, el primero es la estimación de costos, seguido por el presupuesto y por último el control de costos.

- **Estimación de Costo:** Esta compone una primera aproximación, con la información disponible al momento, de los recursos financieros requeridos para poder ejecutar el proyecto. Además, aquí se consideran diferentes alternativas como la compra o alquiler de equipo o subcontratar o utilizar recursos propios.
- **Presupuesto:** Es realizar la suma de todas las estimaciones realizadas en el punto anterior. Este constituye los costos autorizados para ejecutar el proyecto. Es la línea base para evaluar el desempeño cuando la obra esté en ejecución. Dependiendo del tamaño del proyecto, este punto y el primero puede verse como una sola fase.
- **Control de costos:** Es el proceso por el cual se monitorea la situación del proyecto y de ser necesario actualizar el presupuesto. Esta se logra a partir de analizar los costos reales de los trabajos realizados con la línea base del presupuesto y realizar cambios oportunos y así asegurarse que los costos no excedan el plan autorizado.

## Control del Tiempo.

El control sobre el tiempo es necesario en el proyecto para poder finalizar este en el tiempo determinado. Este se desarrolla por etapas que se desarrollan a continuación:

- **Definición de actividades:** Es identificar todas aquellas tareas que son necesarias para terminar el proyecto. Aquí también se desarrolla la Estructura Desglosada de Trabajo que está compuesto de paquetes de trabajo y estos en actividades que son la base para la planificación.
- **Secuencia de actividades:** Proceso en el que se identifican cuales actividades estén conectadas con otras, y de esta manera establecer cual son sus sucesoras y predecesoras.
- **Estimación de Recursos de Actividades:** Estimación de la cantidad de materiales, personas, equipos y suministros que requiere cada actividad.
- **Estimación de Duración de las Actividades:** Aproximación de la cantidad de periodos, previamente definidos, necesita cada una de las actividades. Estas duraciones están sujetas a la cantidad de personas y equipo se tiene disponible.
- **Desarrollo del Cronograma:** Unificación de todos los puntos anteriores y poder identificar cuáles serían las restricciones y poder determinar cómo se va acomodar las actividades y los recursos a lo largo de línea del tiempo del proyecto. Este dará la fecha final del proyecto y será la línea base para comparar contra el avance.
- **Control del Cronograma:** Es dar el seguimiento adecuado al proyecto para poder actualizar los avances y poder determinar el estado de cronograma y gestionar cambios en la línea de base cuando estos seas necesarios.



# Control de Calidad.

El control sobre la calidad es independiente del proyecto, este se debe realizar en cada uno de ellos. Un incumplimiento en la calidad puede generar consecuencias negativas para los dueños del proyecto. Al igual que con los aspectos anteriores este se divide por etapas:

- Planificación de la Calidad: Proceso por medio del cual se definen los requisitos o estándares para cumplir con la calidad. Esta parte debe ir de la mano con los otros aspectos de la dirección de proyectos para que no se vean afectados.
- Aseguramiento de Calidad: Auditorías de los requisitos de calidad y los resultados, realizadas por un grupo designado únicamente al control de calidad de los productos.
- Control de Calidad: Monitoreo y registro de los datos para evaluar el desempeño y a partir de este realizar cambios necesarios. Este se realiza desde que el proyecto inicial hasta el final. Las actividades de control de calidad permiten identificar las causas de una baja calidad del proceso o del producto.

## Recolección de Información en Campo.

La recolección de datos en campo se puede llevar por medio de reportes diarios. Este reporte debe llevar los datos relevantes relevados en el día como cifras, logros, resultados, actividades ejecutadas e incidentes.

Para la obtención de información primero se debe reunir información como proyectos, sub - proyectos, fechas de actividades o cualquier otro dato que facilite la recopilación de datos. El registro se debe llenar en un formulario que debe llevar:

- Fecha.

- Nombre y Logo de la empresa.
- Nombre de encargado de ejecutar.
- Nombre de encargado de recibir.
- Título.
- Actividad.
- Observaciones.
- Entre otros ítems que considere importante la persona encargada de elaborar la plantilla.

A partir de la información recopilada se deben ofrecer recomendaciones y sugerencias, evidenciando actitud proactiva.

## Reuniones.

Una reunión es cuando un grupo determinado de personas se unen con el fin de tomar decisiones o de transmitir información. Estas deben ser preparadas y se debe tener claro los temas a tratar durante su ejecución, además antes de convocar a las personas que la integraran se debe valorar si es completamente necesario realizarla.

Para la preparación de una reunión se deben establecer objetivo y motivos, preparar el material destinado a esta. Realizar la convocatoria con tiempo para que las personas invitadas puedan ser debidamente notificadas y buscar un entorno donde se pueda alcanzar los objetivos planteados. Lo que se busca al final de una reunión es que los temas tratados y las decisiones tomadas se conviertan en acciones o que la información que se esperaba transmitir sea recibida y captada por los receptores.

## Inspección.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile en su manual de inspección técnica de obras define la inspección como acción de medir, examinar, ensayar, comparar con calibres una o más características de un producto o servicio y compararlo con los requisitos especificados para establecer su conformidad (Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile,2007).

Se realiza con la finalidad de garantizar que el proyecto se realice según lo establecido en

los planos y especificaciones. Esta sirve para tener informes de progreso y calidad de los trabajos realizados. Coordinación en campo de los diferentes grupos de trabajo y rápida actuación en el momento de incidencias. Además, sirve para tomar mediciones de cada una de las partes del presupuesto y de esta manera generar la autorización de pagos.

## Diagramas Cyclone.

Diagramas de Micro Cyclone son simulaciones de operaciones desarrollada por Daniel W. Halpin. Consiste en una red que se ensambla por medio de nodos que describen los procesos de construcción y todos aquellos recursos necesarios para el correcto flujo de las actividades. Este modelaje ha contribuido al desarrollo de investigaciones sobre la simulación aplicada al sector de la construcción, así como la generación de softwares de simulación que se basan en el mismo concepto. Este tiene diferentes figuras que definen su función como lo son,

1. Tarea Normal



2. Tarea Combi



3. Queue



4. Secuencia



5. Fin de ciclo



## Diagramas de Ishikawa.

Los diagramas de Ishikawa, también llamado diagrama causa-efecto o diagramas de pescado, son la respuesta a una pregunta. A pesar de que no siempre se tiene certeza de que las causas definidas son o no responsables de los efectos estos sirven para luego determinar que causas atacar.

Para su elaboración existen dos maneras, en la primera se realiza un listado de los problemas identificados y se estructuran identificando los principales y sus causas varias veces, hasta que se complete.

Para la segunda forma consiste en identificar los problemas principales y ubicarlos en las flechas principales y desprender de estas las causas secundarias. Para realizarlo de esta manera se deben tener bien identificados los problemas principales. Por lo en muchos casos los problemas principales se dividen en seis categorías: Ambiente, Método, Medición y Maquinaria, las cuales son llamadas las 6 M, y a partir de estas se categorizan las causas del efecto.

## Diagramas de Pareto.

Es un método grafico por medio del cual se ordenan los elementos que lo componen de mayor frecuencia a menor frecuencia, el cual consiste en el principio de Pareto. Este nace debido a que dentro de las empresas se tiene que claro que cada una de las situaciones que afectan un problema tiene importancias desiguales, es decir no todas afectan por igual.

Este da cabo al principio de *los pocos vitales y los muchos triviales*, el cual es la base del diagrama de Pareto. La proporción debe ser aproximadamente de un 20% los pocos vitales y 80% los muchos triviales. El 20% resulta ser el responsable de los efectos.

El diagrama de Pareto es un estado de la naturaleza que ocurre en varias situaciones, sirve como manera de llevar adelante un proyecto ya que es una herramienta para la gestión. Además, es una forma de visualizar los problemas que afectan los procesos.

Para construir un diagrama de Pareto es necesario primero recolectar hechos, observaciones o resultados necesarios. Para poder desarrollarlo se puede usar diagramas de Ishikawa como respaldo de las causas identificadas. Se definen los siguientes pasos para elaboración del diagrama:

- Se selecciona tema de estudio.
- Selección de la unidad de medida.
- Definición del periodo.
- Se realiza un listado de los elementos desde la izquierda hacia la derecha sobre el eje horizontal, de forma que disminuya la magnitud de la unidad de medición.
- Se construyen dos ejes verticales. El eje izquierdo debe ir la frecuencia de ocurrencia y el eje derecho son los porcentajes acumulados.
- Se usa para identificar los elementos más importantes para la mejora.

## Lean Construction.

Lean construction es la aplicación de la filosofía lean en la construcción. La filosofía lean consiste en dos aspectos principales, agregar valor al cliente y mejorar la eficiencia de los procesos, por lo que se basa en la eliminación de pérdidas, suprimiendo todo lo que no genere valor pero que consuma recursos. Debido a lo que lo que puede parecer normal en los modelos tradicionales para la cultura lean son innecesarios. En términos generales Lean es maximizar el valor y minimizar los desperdicios.

Por lo que la implementación de esta filosofía en la construcción se basa en la creación de una cadena de suministro Lean. Esta trata de unir todas las partes del ciclo de un proyecto. Además, con esta cadena se busca contrarrestar aspectos generados en la construcción como sobrecostos, entregas tardías, baja calidad. Por

medio de entregas a tiempo, trabajos completos, calidad certificada, evitar los retrabajos, entre otros aspectos. Para lograr lo anterior se requiere compenetración entre las fases y la mejor planificación y compromiso entre los actores.

## Six Sigma.

Es una metodología compuesta por cinco pasos, que son: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, y Controlar. Tiene como fin aumentar la capacidad de los procesos, tratando de que haya 3,4 defectos por cada millón de oportunidades.

Las organizaciones la usan como estrategia para aumentar rentabilidad del negocio y que de esta manera mejorar sus productos y servicios. Se basa en cinco principios:

- Enfoque al cliente.
- Centrado en los procesos.
- Metodología para la realización de proyectos.
- Estructura Organizacional.
- Lucha contra la variación.

La herramienta tiene como base la mejora de procesos centrándose en los aspectos más críticos para el cliente. Reduciendo la variabilidad para que el proceso tenga la menor cantidad de diferenciaciones de su forma correcta. Por lo que busca las soluciones en la raíz del problema.

## Last Planner System.

Es un Sistema que busca incrementar la planificación y mejorar el desempeño. Tiene como base las restricciones para ejecutar actividades, entre mayor cantidad de restricciones son eliminadas mayor cantidad de actividades ser realizadas. Busca incrementar la confiabilidad tomando acciones sobre el sistema de planificación y aparte de esto se trabaja directamente con el planificador y ejecutor se a este el maestro de obras, encargado, subcontratista, entre otros.

El Last Planner System logra que la planificación deje ser por pura experiencia del encargado y empieza a ser un proceso de cuidado y trabajo. Además, los errores en esta son considerados y no se dejan de omitir y el desempeño se mide durante la vida del proyecto. Otro aspecto que mejora es que se enfoca tanto a largo plazo como a corto plazo.

Para trabajar el sistema se hace bajo tres planificaciones, plan maestro, plan intermedio, plan semanal. Es usado para todas las actividades del proyecto desde su inicio hasta su final, y esta es la que cubre el plan maestro. El plan intermedio es una parte del plan maestro, pero se segrega en diferentes intervalos, sean 6 semanas, y cada vez que el plan intermedio termina se inicia otro. Plan semanal, se basa en el plan intermedio y se ejecuta todas las semanas que componen el proyecto.

- **Control de Producción:** Se refiere a la evaluación de los procesos en lo que se utilizan las materias primas para llegar al producto final.

## Inventario.

Los inventarios son el acopio de materiales, provisiones, y productos terminados, que aparecen en la línea de producción de una empresa de cualquier índole. Se considera que un inventario disponible puede costar entre un 20% y 40% de su valor.

Para el manejo de inventarios se deben definir una serie de controles con los cuales se pueda conocer los estados del inventario. Con un inventario se espera gestionar la entrada y salida de los bienes, la coordinación de pedidos y darle el debido seguimiento. La gestión de inventarios se divide en tres actividades básicas:

- **Determinación de las existencias:** Esta consta de hacer lo posible para determinar todo lo que existe dentro de la bodega, se por medio de procedimientos de entrada y salida, conteos y auditorias.
- **Análisis de Inventario:** Hace referencia a un análisis en donde se determina si o existente es lo que realmente se requiere, utilizando el pensamiento de *nada sobra y nada falta*.

# Metodología.

El presente proyecto de graduación se basa en la evaluación del proceso de construcción de tuberías de recolección de aguas sanitarias de los sectores de Coronado, Ipís, Purral, Guadalupe, Sabanilla, Pavas y Moravia. El análisis se realizó para poder proponer soluciones a los procesos y de esta manera Para llevar a cabo la práctica profesional se siguió el orden de los objetivos establecidos.

## Análisis de la situación actual.

Para iniciar fue necesario determinar la realidad del proyecto, De esta manera obtener una primera idea de posibles acciones para corregir las deficiencias. Esto haciendo referencia a la obra en general, desde un control en bodegas hasta de inspección en campo.

Esta primera información fue obtenida a partir de reuniones con los encargados del proyecto. Se habla con personas como el representante del Consorcio MECO-Fernández Vaglio, para conocer el estado del proyecto, así como se ha venido trabajando la relación contratista-administración, la forma de cobro y otros aspectos básicos del cartel de licitación. Además, también se tuvo una reunión con el ingeniero residente del proyecto quien es el encargado de explicar la forma de trabajo y lo controles existentes o faltantes en el proyecto, esto luego fue reforzado con el estudio de las metodologías de construcción que fueron desarrolladas para como parte de los cumplimientos del cartel.

A parte de esto se realizaron inspecciones a los frentes de trabajo con el fin de tener una idea más real del proceso constructivo. Se dibujaron diagramas Micro Cyclone a partir del proceso visto en campo.

Además, se realizó visitas al plantel, lugar donde se encuentra la bodega de la empresa, aquí se analiza la forma en que manejan los recursos y la manera en que se lleva registro de estos, también se estudió la distribución en planta del lugar y donde se almacena cada material.

Otro aspecto estudiado fue, el manejo del equipo y maquinaria que pertenece a la empresa y la que se alquila. Primero por medio de consultas a los profesionales encargados del tema, se obtiene información de cuanta maquinaria hay en campo y la forma en la que se organiza el trabajo de estos.

## Estado del Proyecto.

Para el estado en el que se encuentra el proyecto se realizaron reuniones con el gerente del consorcio, con el que se evaluar el rumbo del proyecto y se asistió a otras con los encargados de la administración que en este caso corresponde a Acueductos y Alcantarillados. Además, se consultó el cronograma del proyecto para determinar en términos generales los plazos del proyecto y algunos hitos importantes dentro de este. También para verificar si este se sigue o solo sirve como una guía, pero no manda el orden de trabajo. El estudio del cronograma dará una idea de cuánto ya se ha producido y cuanta falta para poder finalizar el proyecto.

Se obtuvo también el flujo de dinero a lo largo del proyecto, este sirve como indicador, al igual que el cronograma de que tan adelantado o

atrasado va el proyecto. Debido a que indica la facturación mensual y comparándolo con el esperado al inicio del proyecto se obtienen conclusiones del estado de la obra.

En cuanto al análisis en costos y de recursos se elaboró una boleta de control de campo. La boleta de control se le fue entregada a cada uno de los encargados de las cuadrillas que pertenecen al proyecto. En ella se debía llenar información importante para el control como:

- Proyecto.
- Hora Inicio de Actividades.
- Hora Finalización de Actividades.
- Encargado.
- Ingeniero.
- Actividad.
- Materiales Utilizados.
- Maquinaria y Equipo menor.

La Boleta de control el campo trae una sección en donde caso de que existiera una incidencia por la que el trabajo debía ser detenido se explicara el motivo por la que sucedió y que se hizo para poder seguir trabajando, además cuanto tiempo se estuvo detenido a causa del imprevisto.

Con la boleta de control se recolectaron datos diarios de los trabajos realizados y se puede verificar día a día, si se cumplió con el objetivo. Con los datos obtenidos, por medio del presupuesto y del software Excel se hizo la estimación de cuanto costo ese día el trabajo y se comparó contra lo que se cobra por esa actividad en específico. Lo que dio una idea de cuánto dinero entro y se supo si se cubrió el gasto o si la utilidad fue la programada.

Una vez estudiadas las actividades del proyecto, se definieron cuáles son las que más déficit generaban. Se decidió dividir el proyecto en tres actividades generales, Colocación de Tubería (Reemplazo y Refuerzo), Colocación de Estructura de Pavimento y Colocación de Pozos. Esto se hizo debido a que los rubros que pagan es metro lineal de tubería colocada, con la salvedad de que el precio diurno y nocturno varían, se paga el metro cuadrado de estructura

de pavimento y el metro lineal de profundidad de pozo, y este se cobra el primer metro más caro que el resto ya que incluye la losa fondo y tapa de concreto.

Se analizó los procesos y atreves de consultas a ingenieros y encargados se definen todas las posibles causas por la que se generan atrasos y sobrecostos en las actividades. Se elaboraron diagramas de Ishikawa que consisten en una representación gráfica en donde se realiza una relación de las causas con el problema definido. Estos problemas están definidos según seis categorías, Materiales, Mano de Obra, Medio Ambiente, Método, Medición y Maquinaria. Después de realizar una lluvia de ideas de los factores que pueden causar el efecto, se categorizan en las 6 diferentes categorías definidas anteriormente.

A partir de lo anterior, con inspecciones al proceso constructivo y del registro diario de las actividades, se contabilizaron las causas que afectan las actividades. Para poder hacer el recuento de las afectaciones, se hizo por medio de la recolección de datos con la boleta de control de campo, por medio de la comunicación interna de los ingenieros cuando ocurre un imprevisto (correos electrónicos o mensajes de texto) y también se utilizó los reportes de trabajos por administración y afectaciones que se envían al cliente cada que vez que ocurre un caso fortuito.

Cuando se supo la cantidad de veces que afecta cada causa a las actividades se le realizaron diagramas de Pareto. Este expresa básicamente que un 80% de los sobrecostos y atrasos son causados por el 20% de las causas.

Aquí la actividad de colocación de tubería se dividió en colocación diurna y colocación nocturna, debido a que los factores que inciden sobre ella son diferentes a cuando la actividad es ejecutada durante el día.

Además, de los factores que suceden en campo, se identificarán causas fuera del sitio de trabajo. Por lo que se evaluaron, las condiciones del plantel, se identificaron elementos a mejorar dentro de este. Además, del plantel otro aspecto externo al proceso constructivo pero que lo afecta directamente, es el proceso de licitación, sobre

este también se definieron algunos elementos que pueden estar influyendo actualmente sobre los problemas de plazos y costos. Para ambos procesos se realizaron consultas a los ingenieros para definir los principales problemas en ellos. Esto además se graficó en diagramas de Ishikawa, para posteriormente buscar soluciones.

## **Investigación de Buenas Prácticas.**

Una vez identificados todos aquellos factores que afectan llevar a cabo el proyecto, se prosiguió con la siguiente parte del proyecto. Esta consistía en investigación de buenas prácticas para la ejecución de proyectos. Esta se realizó por medio de consultar bibliografía relacionada con el tema de estudio. Se estudiaron tesis, libros y proyectos de graduación.

A parte de la investigación, se realiza consulta a expertos sobre cómo dar posibles mejoras a los procesos y disminuir los factores identificados. Dentro de los expertos con los que se tuvo contacto están el gerente del Consorcio MECO-Fernández Vaglio, ingeniero residente, a los inspectores por parte del cliente y los encargados de las cuadrillas.

Tras consultar la bibliografía necesaria, se escogió una filosofía de mejora continua y se definió las razones del uso de esta. Además, de cómo se adaptaría al tipo de trabajo que desempeña la empresa.

## **Proponer soluciones a los factores identificados.**

Para finalizar el proyecto se realizó una serie de propuestas de buenas prácticas para los problemas identificados. Las soluciones fueron en base a las consultas realizadas en el punto anterior y a la filosofía escogida.

Se propuso un método para el control y manejo del tiempo dentro del proyecto con el fin de que las fallas en el cronograma se disminuyan y que el manejo de los recursos sea de manera más eficiente. Además, los factores para los que fueron propuestas las soluciones fueron aquellos que correspondían al 80% de las causas de sobrecostos y atrasos.

También se plantearon mejoras en los procesos de licitación y el manejo de bodegas. Aquí no se realizaron específicamente para cada causa identificada, sino se realizó un plan de manera más general.

Se programa un método para llevar el control sobre las actividades, por medio de la comparación de los facturados contra lo gastado. De esta manera, cuando la empresa decida implementar las acciones correctivas en futuros proyectos pueda determinar el beneficio de las buenas prácticas constructivas.

# Resultados

El proyecto en estudio es un consorcio entre Fernández Vaglio y MECO, este consiste en un mejoramiento ambiental al redirigir las aguas negras de las cuencas del Río Torres y Río Rivera a la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos. Se realiza para las viviendas de la zona establecida ís. Las aguas serán transportadas por gravedad en tubos Novafort de 200mm para la tubería principal y Novafort de 100mm para las acometidas.

El proyecto consta tanto de reemplazo, como de refuerzo, el reemplazo consiste en sustituir la tubería existente con una nueva y dependiendo del estado en que se encuentren los pozos, el cliente, (AyA), decide si estos son contruidos nuevamente, en el caso del refuerzo es construir en su

La principal diferencia entre los procesos es que para reemplazo se realizar un desvío momentáneo de las aguas negras a la tubería pluvial y se les solicita los habitantes de las viviendas del sector que no utilicen el servicio sanitario por un tiempo definido para poder realizar las labores de sustitución de la tubería. Para los pozos si estos están llenos de agua negras, se deben bombear para poder realizar la construcción del nuevo pozo.

Para ambos métodos antes de empezar con la excavación de la zanja se realizan sondeos con el fin de ubicar tuberías existentes en la zona a intervenir. También, cuando se cuenta con el tiempo suficiente, el cliente con un geo - radar ubica las tuberías que pasan por el tramo.

Para la colocación de la tubería, primero se realiza la excavación del cañón de 1.2m de ancho. Se ubican niveles y una cama de arena y

sobre esta se acuesta el tubo. Una vez que se coloca toda la tubería principal, se regresa al inicio y se hace el trabajo de todas las previstas.

A continuación de muestran diagramas Micro Cyclone de las dos metodologías de colocación de tubería.



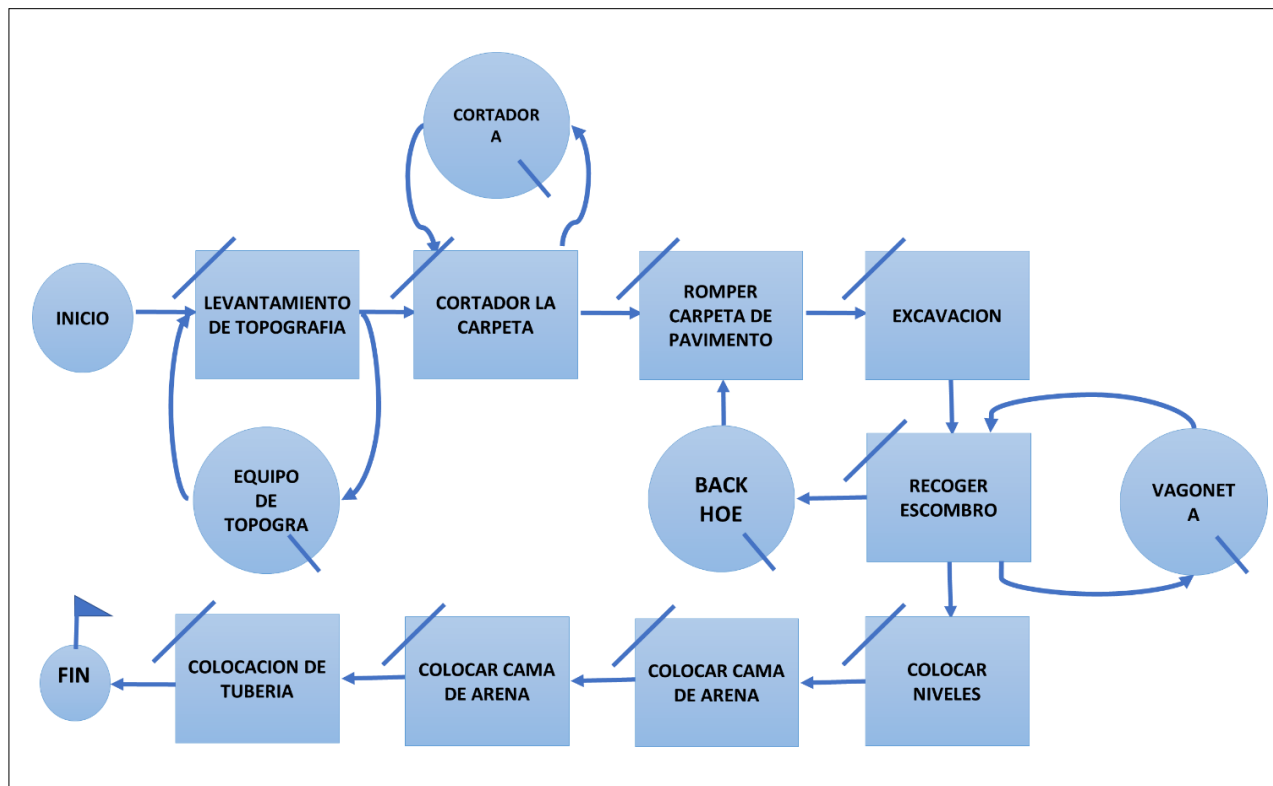


Figura 01. Diagrama Micro Cyclone para Colocación de Refuerzo de Tubería (Coto, 2018)

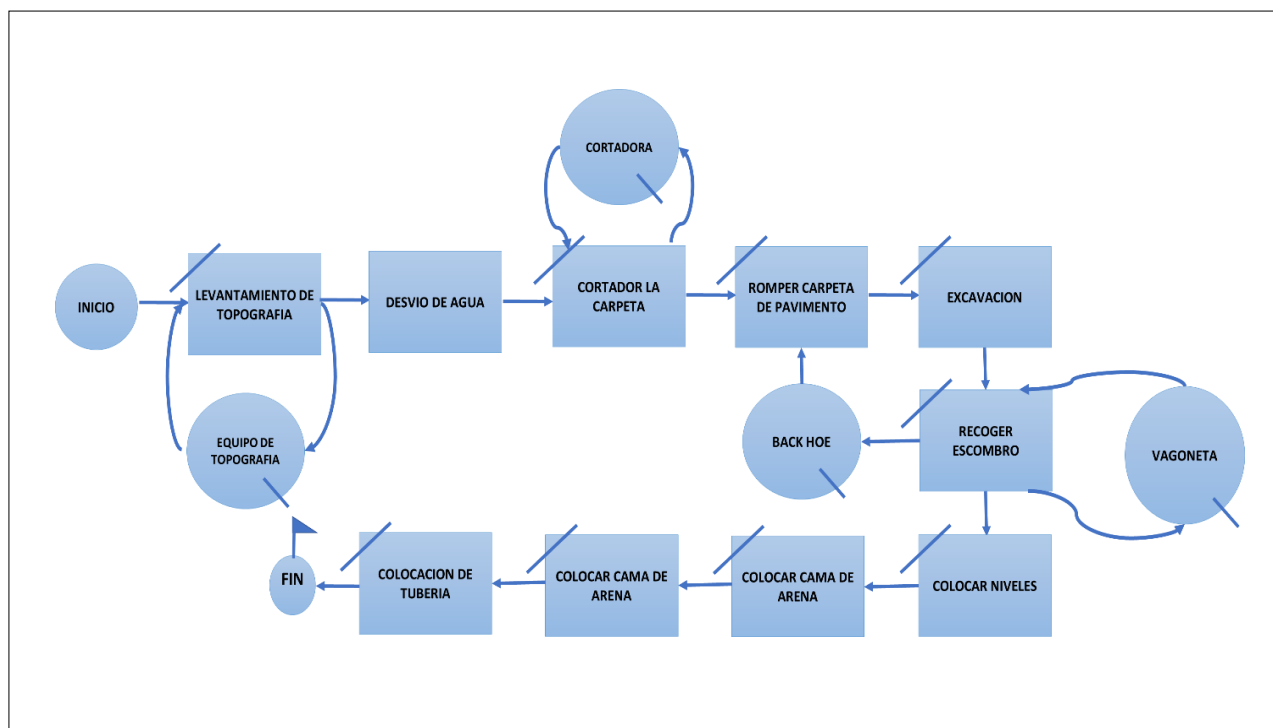


Figura 02. Diagrama Micro Cyclone para Colocación de Reemplazo de Tubería (Coto, 2018)

Posterior a esto, se coloca la capa de 15cm de lastre compactado y una base estabilizada con cemento de 15cm. En esta se usa 1.6 sacos de cemento por cada metro cúbico de lastre, y se dosifica el agua en campo a criterio del encargado de la cuadrilla, se cubre con plástico negro y lastre pobre hasta la fase de asfalto.

Antes de asfaltar se ejecutan las pruebas de aire y de deflexión para verificar la funcionalidad de la tubería. Una vez que se cumple con las pruebas y hayan transcurrido los tres días para que la base estabilizada tenga la suficiente resistencia, se procede con el asfalto. Se exige una capa de 5cm de espesor en calles municipales y para rutas nacionales o de travesía se coloca el espesor de la carpeta existente. El mismo día que se asfalta se perfila el cañón y las previstas y se abre más el ancho según solicite inspección.

Además, se deja el espacio para la posterior colocación del pozo. Según la teoría se debe colocar el pozo antes de la colocación de la tubería, pero por diferentes razones este es el último proceso, que incluye la excavación del hueco, colocación de la base y los anillos de concreto y el detallado, una vez hecho esto se asfalta el segmento restante y se entrega a la inspección del cliente y estos deciden si aceptan o rechazan el tramo construido.

En los pozos, estos en el inicio del proyecto eran comprados hechos a la empresa Productos de Concreto. Después de un análisis realizado por la empresa se decidió pasar a construir estos y es entonces donde se empieza a utilizar la metodología actual.

Para la parte del manejo de los recursos, se hace la solicitud a los proveedores por medio de órdenes de compra generadas por proveeduría. Estos llegan directamente al plantel, lugar donde se encuentra la bodega, y son recibidos por el bodeguero, pero no existe un control sobre lo que entra y sale, hay un pequeño inventario, pero no se utiliza, ya que este es muy básico. El "stock" de materiales es muy bajo, lo que ha generado que es caso de afectaciones los ingenieros dejen sus tareas para poder comprar los materiales para la solución del imprevisto. Además, la falta de control sobre el material

despachado ha generado problemas de calidad en el producto o que otros proyectos de la misma empresa utilicen los recursos del proyecto Obra 7, dejando a este déficit de materiales para trabajar.

En las siguientes figuras se muestran diagramas Micro Cyclone, referentes al proceso de construcción de la estructura de pavimento y pozos.

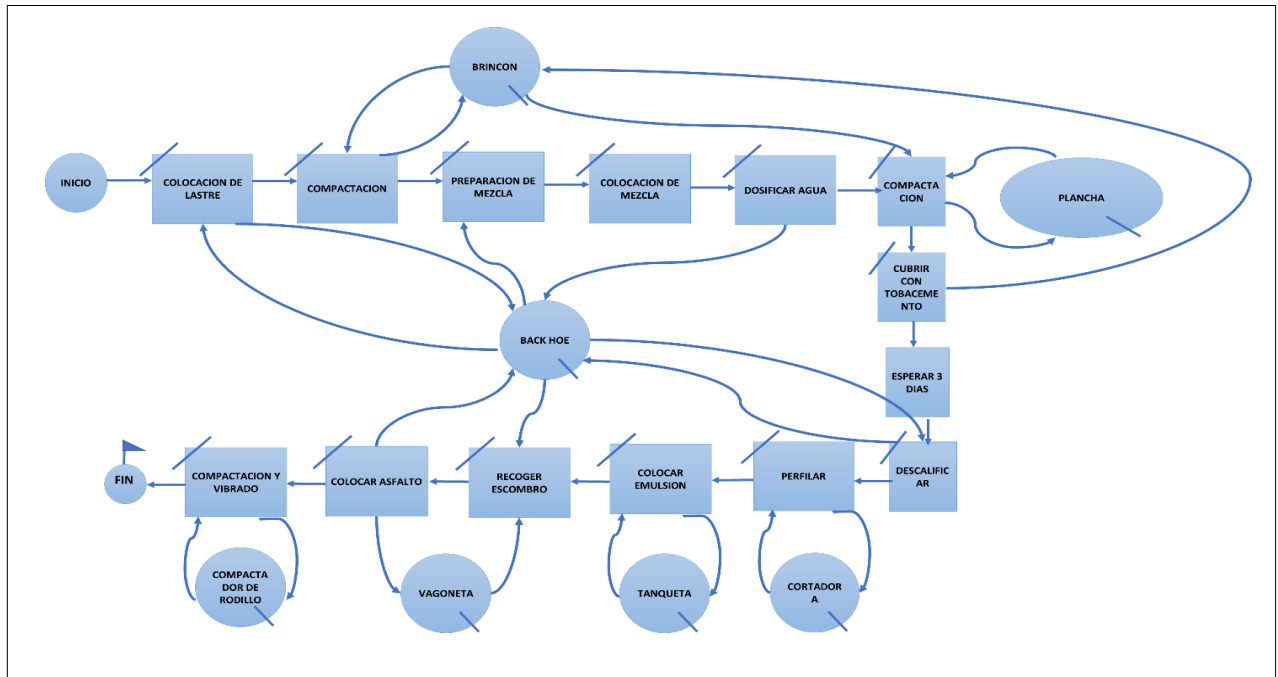


Figura 03. Diagrama Micro Cyclone para Colocación de Estructura de Pavimento (Coto, 2018)

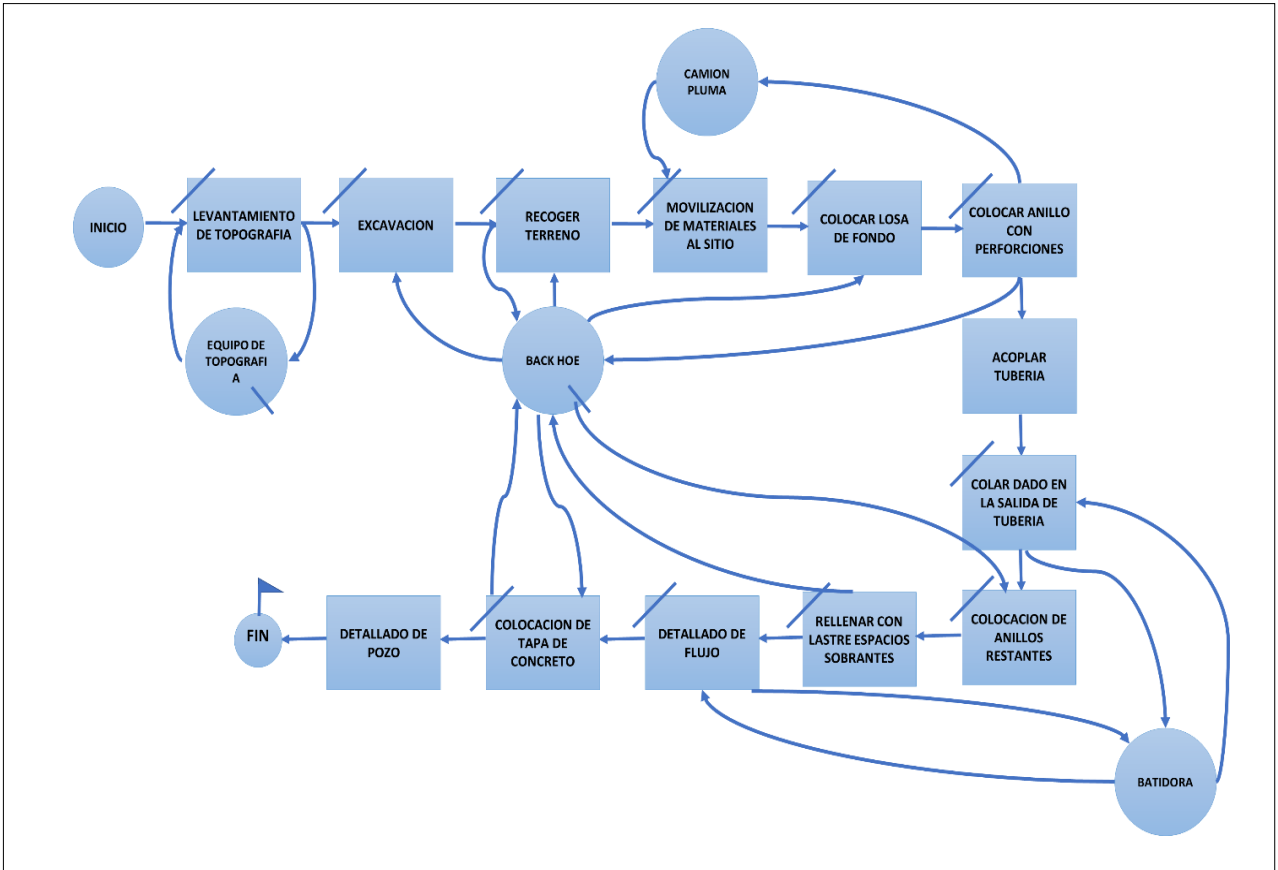


Figura 04. Diagrama Micro Cyclone para Colocación de Pozos de Registro (Coto, 2018)

La inspección en campo es baja debido al volumen de trabajo con la que se carga a los ingenieros, ya que estos deben no solamente ver el proyecto analizado, sino adicionalmente proyectos pequeños para los que se contrata la empresa o incluso asistir en otros. Además, el hecho de que se trabaja en varios frentes y se realizan diferentes actividades a lo largo del día dificulta estar presentes en todos los tramos donde se labora. A pesar de que en algunas de las actividades se encuentra personal de la unidad ejecutora del AyA, quienes son el control de calidad, estos solo buscan que se cumpla con las especificaciones, no la optimización de recursos. Asimismo, por tener que realizar labores en rutas nacionales o de travesía, ciertos trabajos se deben obligatoriamente ejecutar en horas de la noche, específicamente de 9 pm a 5 am, factor que no se había contemplado hasta que el Ministerio de Obras Públicas y Transporte negó el permiso diurno al cliente, por lo que de noche solo hay un ingeniero inspeccionando todos los tramos.

Así como el control en campo es deficiente, no existe algún mecanismo para determinar si el proyecto va bien encaminado, es decir si se está obteniendo la utilidad planificada, esto debido a que no se compara lo facturado contra lo que se tiene en presupuesto. De la misma manera, el cronograma de trabajo no se sigue, se realizó únicamente para cumplir con la licitación, se realiza una programación bisemanal, que se envía a inspección del AyA y este se encarga de aprobarla y dar el aval para que se entreguen a la empresa los permisos para abrir los frentes programados. Este bisemanal es con el que se trata de trabajar, aunque no toma las semanas se logra cumplir. Para la facturación se completa una hoja, a la que llaman hoja de cantidades, esta tiene la información necesaria para cobrar los trabajos sobre cada tramo, se actualiza y se hace el cobro mensualmente. Debido a las especificaciones del cartel debe haber un laboratorio disponible 24 horas para realizar las pruebas pertinentes de cada actividad, con estas pruebas se desarrolla un informe de calidad cada mes que se presenta junto con la factura, para así garantizar los trabajos ejecutados.

Aunque, parte de las dificultades del proyecto es el desorden interno de la empresa,

se tienen problemas externos como el hecho de que el cliente es una entidad estatal, donde la burocracia es un gran obstáculo. Dentro de la organización del AyA, no hay coordinación entre departamentos ya que existen problemas donde la Unidad Ejecutora solicita un cambio y Ambiental o Social no lo permiten o viceversa.

Además, ya que es una obra, donde se está afectando directamente las viviendas o calles de zonas residenciales, hay un contacto cercano con gente, de esta manera las quejas son constantes, por lo que hay que detener trabajos en algunos tramos con el fin de solucionar molestias de vecinos. Principalmente son, polvo, ruido, destrozo del cordón de caño o acera, escombros que no se recogió, atrasos en la colocación de asfalto, afectación a comercios en las calles que se cierra para hacer el trabajo.

Otro problema, es la desactualización en la que se encuentran los planos del AyA, y el desconocimiento de ellos de la ubicación de tuberías, afectando en ocasiones la apertura de la zanja o del pozo. Muchas veces se encuentran con tuberías desconocidas y en ocasiones son destruidas o cambiar las formas de trabajo, atrasando todo el proceso, ya que, en caso de ser destruida, si la tubería no es de 1 ½ pulgadas o menos, no puede ser reparada por la empresa y se debe esperar a que el AyA, haga la reparación.

Cuando existen estos imprevistos hay una afectación a la empresa ya que parte de la cuadrilla deben asistir al cliente a resolver, mientras que otros no realizan ninguna labor, siendo tiempo muerto que se debe pagar, esto se cobra al AyA, como trabajo por administración y afectación. El inconveniente con este tipo de cobros es que no siempre son aceptadas y es complicado que sean pagadas por la cantidad de filtros por los que tienen que pasar, ya han existido casos donde estos por más que se ha intentado cobrar no se ha logrado.

## Estado del Proyecto.

El cronograma de trabajo y el presupuesto fueron realizados como parte de la información que se tuvo que presentar cuando se

concurrió en la licitación. Se realizó un cronograma muy general donde solo se contemplaron las actividades de colocación de tubería y colocación de pavimento, en esta última se incluye estabilización, perfilado y la colocación de la carpeta de pavimento. El presupuesto, al ser un contrato por costos unitarios, consta de una hoja electrónica con cantidades que este caso envía el cliente a los participantes. Esta hoja fue llenada para completar los requisitos del cartel, se decidió dentro de cada precio unitario incluir los costos indirectos, administración y utilidad. Se hizo de esta manera ya que en caso de haber diluido los costos indirectos en las actividades más importantes y se disminuyera el alcance de proyecto, puede que no se afecte el presupuesto de costos indirectos.

Por medio del estudio de los cronogramas de trabajo y del flujo de dinero se obtiene información valiosa para determinar el rumbo del proyecto. El cronograma se ha actualizado dos veces con respecto al presentado al cliente en el momento de realizar la oferta. Estos cambios se han realizado con por diferentes razones como por el ejemplo que la orden de inicio se atrasó por razones externas tales como que los permisos tardaron en llegar. Debido a que las razones por las que se retrasó el inicio no fueron por faltas del consorcio, la prórroga se aprobó sin problema.

Se han elaborado 3 versiones de la programación con el fin de pedir extensión del plazo de entrega al cliente, AyA, esto muestra una deficiencia en el cumplimiento del cronograma. Realizando un análisis a diciembre del 2017 se obtuvo que se han realizado un 40% de las obras y que según la 3 versión del cronograma de la obra se debería ir por un 53% de obra ejecutada. Esto es un indicador de un atraso. También refleja que la situación sería aún más crítica si se comparara contra la 1ra versión de la programación. El pronóstico dice que no se terminara en junio, fecha en la que se había establecido que finalizaría el proyecto.

**TABLA 01. PORCENTAJE DE AVANCE REAL VS VERSIÓN 3 DE CRONOGRAMA**

Actividad	Cronograma V3	Real
<b>Obra 7</b>	53%	40%
<b>Refuerzo Rivera</b>	65%	73%
Colocación	65%	73%
Asfalto	65%	74%
<b>Refuerzo Torres</b>	63%	36%
Colocación	75%	46%
Asfalto	36%	12%
<b>Reemplazo Rivera</b>	96%	68%
Colocación	94%	100%
Asfalto	100%	0
<b>Reemplazo Torres</b>	34%	1%
Colocación	37%	1%
Asfalto	28%	0%

Otro punto analizado para determinar el estado del proyecto fue el flujo de dinero. Este al igual que el cronograma, era parte de la información que se debía presentar para entrar en el concurso. El flujo programado no se cumplió desde el primer mes lo que muestra que existió un deficiente control desde el inicio del proyecto.

El flujo de dinero es un indicador de cuanto se ha facturado en el proyecto, sirviendo para generar conclusiones sobre qué tan al día se lleva el plan. Al igual que con el cronograma, para determinar cómo va el proyecto se hizo un corte a diciembre y resultó que se ha facturado US\$ 1 026 858,34 menos de lo que espera a la fecha. Estos atrasos comprometen los futuros meses del proyecto, ya que para finalizarlo de manera adecuada se debería instalar 1570 metros lineales, cantidad que no se ha alcanzado en ninguno de los meses anteriores.

**TABLA 02. FLUJOS REALES VS FLUJOS PLANIFICADOS**

Mes	Flujo Planificado	Flujo Real
mar-17	₡ 201.968.222,00	₡ 39.462.374,07
abr-17	₡ 286.450.827,00	₡ 19.336.474,09
may-17	₡ 250.346.003,92	₡ 33.602.144,17
jun-17	₡ 282.520.730,14	₡ 35.030.039,61
jul-17	₡ 331.843.429,24	₡ 161.118.114,69
ago-17	₡ 340.254.094,20	₡ 68.282.847,70
sep-17	₡ 266.411.801,22	₡ 132.592.847,70
oct-17	₡ 148.884.094,20	₡ 178.194.256,62
nov-17	₡ 156.717.671,89	₡ 150.673.224,16
dic-17	₡ 128.176.179,91	
ene-18	₡ 133.946.764,82	
feb-18	₡ 120.619.194,33	
mar-18	₡ 135.071.716,22	
abr-18	₡ 42.053.581,24	
may-18	₡ 14.562.381,25	

Lo que hace la gerencia del proyecto, cada mes es adaptar los meses siguientes. Como muestra la Tabla a continuación.

**TABLA 03. FLUJOS REALES ADAPTADOS**

Mes	Flujo Planificado	Flujo Real
dic-17	₡ 128.176.179,91	₡ 298.337.354,42
ene-18	₡ 133.946.764,82	₡ 329.910.437,96
feb-18	₡ 120.619.194,33	₡ 358.830.404,15
mar-18	₡ 135.071.716,22	₡ 341.116.133,60
abr-18	₡ 42.053.581,24	₡ 330.540.645,76
may-18	₡ 14.562.381,25	₡ 290.197.389,23
jun-18		₡ 14.892.305,22

Por lo que la producción de tubería esperada de los próximos meses es mayor a la producida anteriormente como muestra el gráfico de producción mensual. Por lo que se deben aplicar medidas para poder cumplir con lo planificado.

<b>TABLA 04. CANTIDAD DE METROS COLOCADOS</b>	
<b>Mes</b>	<b>Metros Colocados</b>
mar-17	186,00
abr-17	450,00
may-17	435,00
jun-17	476,00
jul-17	1348,00
ago-17	783,00
sep-17	951,00
oct-17	650,00
nov-17	1158,00
dic-17	552,00

Como parte del estudio de el estado del proyecto se realizo una evolución de las principales actividades del proyecto. Se realizaron visitas en diferentes frentes de trabajo del proyecto para poder obtener la información requerida para el análisis. Al estarse trabajando en diferentes tramos al mismo tiempo y no poder en todos a la vez, se elaboro una ficha de control en campo. Esta registrara diariamente el trabajo realizado, además de servir como control del trabajo brindara información como horas de trabajo, facilitando al momento de hacer planillas verificar cual es el pago de cada colaborador.

Otro beneficio, fue que, dentro del proyecto constantemente se están realizando trabajos por administración al cliente, la hoja de control da un registro del trabajo realzado y queda claro lo que se tenga que cobrar. La hoja fue entrega tanto a los encargados de cuadrillas propias de la empresa como a los subcontratistas, por lo que se lleva un control cruzado de lo que el subcontratista cobra contra lo que se produjo realmente y evitar facturaciones erróneas.

<b>TABLA 05. CANTIDAD DE METROS A COLOCAR EN LOS PRÓXIMOS MESES</b>	
<b>Mes</b>	<b>Metros Colocados</b>
ene-18	1550,00
feb-18	1550,00
mar-18	1535,00
abr-18	1625,00
may-18	1610,00







**JUSTIFICACION DE TIEMPO MUERTO**

---

---

---

---

---

---

**DIBUJO**

Figura 06. Boleta de Control en Campo II (Coto, 2018)

## Estructura de Pavimento.

La información de campo da los datos para determinar si las actividades están generando ganancias o pérdidas. Se empezó por la colocación de la estructura de pavimento por lo que se ve la colocación de lastre compactado, base estabilizada y carpeteo de pavimento como una sola actividad. Los datos de campo necesarios eran los metros lineales avanzados, los metros cuadrados cubiertos y la densidad del pavimento. También se obtuvo la colaboración de la cuadrilla de campo de topografía para algunos de los datos recolectados.

Con la información recolectada se hace los cálculos respectivos para saber si se está alcanzando la utilidad planificada. En la siguiente

Tabla se muestran los porcentajes ya sea de pérdida o de ganancia de los días en los que se realizó la actividad. Como parte de la identificación de factores que afectan la actividad se realizan diagramas de Ishikawa para determinar todas las posibles causas de sobrecostos y atrasos. Con estas causas se contabilizó en campo las afectaciones que ocurren diariamente. Por lo que se desarrollan diagramas de Pareto para determinar cuáles son los factores que más afectan.

<b>TABLA 06. ANÁLISIS DE LA COLOCACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Tramo</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Metros Cuadrados</b>	<b>Porcentaje de Ganancia o Pérdida</b>
23/01/2018	RMR 01	60	247,00	-30%
24/01/2018	RFR 21	40	187,50	-11%
25/01/2018	RFT 07	53	313,94	-29%
26/01/2017	RFR 25	60	261,22	-20%
30/01/2018	RFR 25	20	166,47	27%
31/01/2018	RFR 25	35	242,96	3%
31/01/2018	RMR 01	25	125,37	-32%
01/02/2018	RMR 01	62	346,56	-14%
02/02/2018	RFR 25	8	48,18	-13%
02/02/2018	RFR 21	45	292,40	7%
06/02/2018	RFT 01	60	205,16	5%
07/02/2018	RFT 01	40	263,63	28%
08/02/2018	RFT01	45	151,98	-23%
08/02/2018	RFT07	15	113,27	-29%
09/02/2018	RFT07	58	258,82	-79%
14/02/2018	COR 24	40	266,22	6%
15/02/2018	RFT07-A	10	81,02	-36%
15/02/2018	RFT07-F	50	268,13	-21%
01/03/2018	RFT07-L	60	304,65	-52%
02/03/2018	RFT04	10	45,03	-39%

A continuación se sigue con el Diagrama de Ishikawa que pretende mostrar todos los posibles factores que pueden generar sobrecostos o atrasos en la actividad.

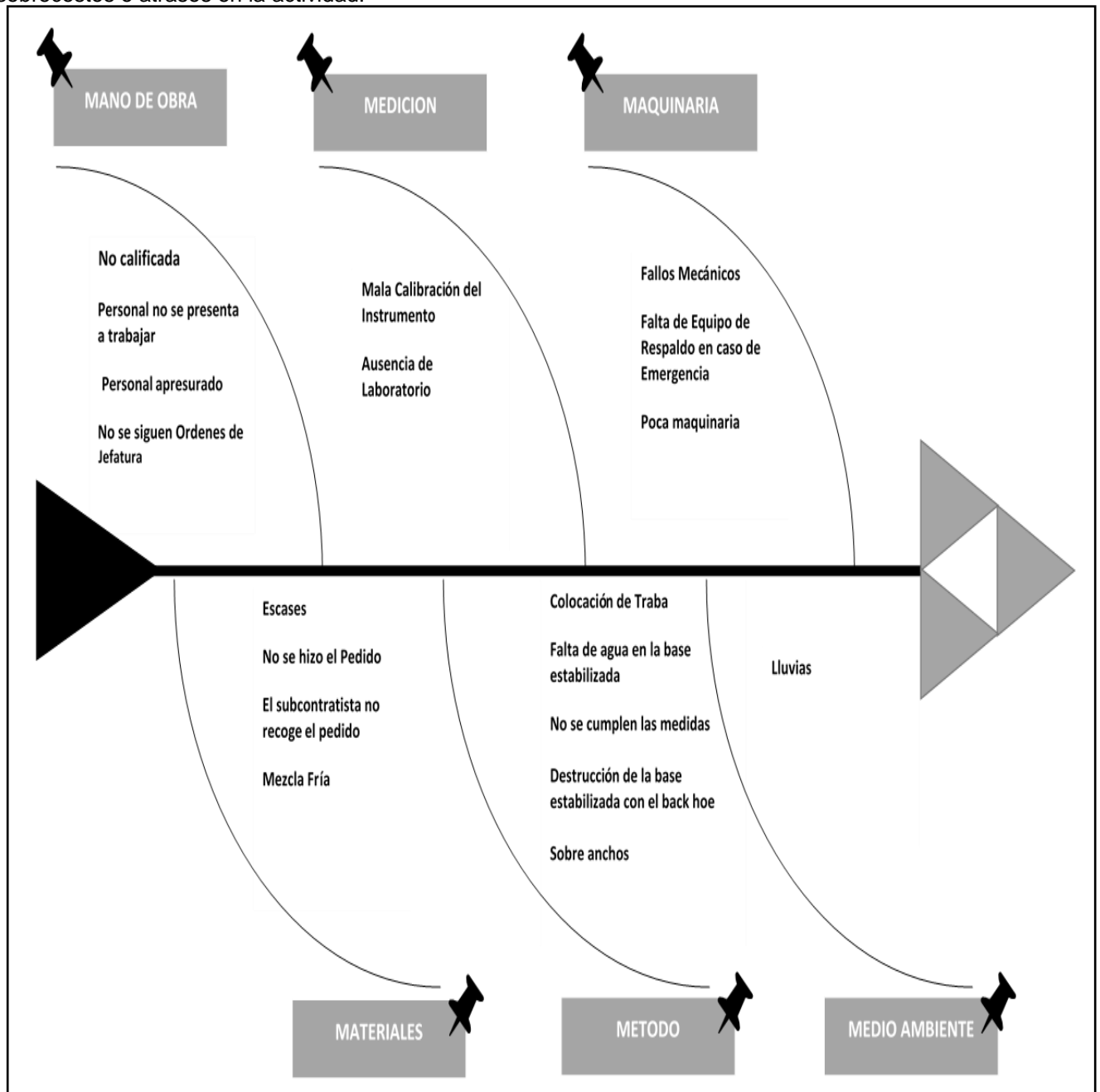


Figura 07. Diagrama de Ishikawa para Estructura de Pavimento

El siguiente Diagrama de Pareto expone la frecuencia con la que se presentan los factores identificados para la actividad.

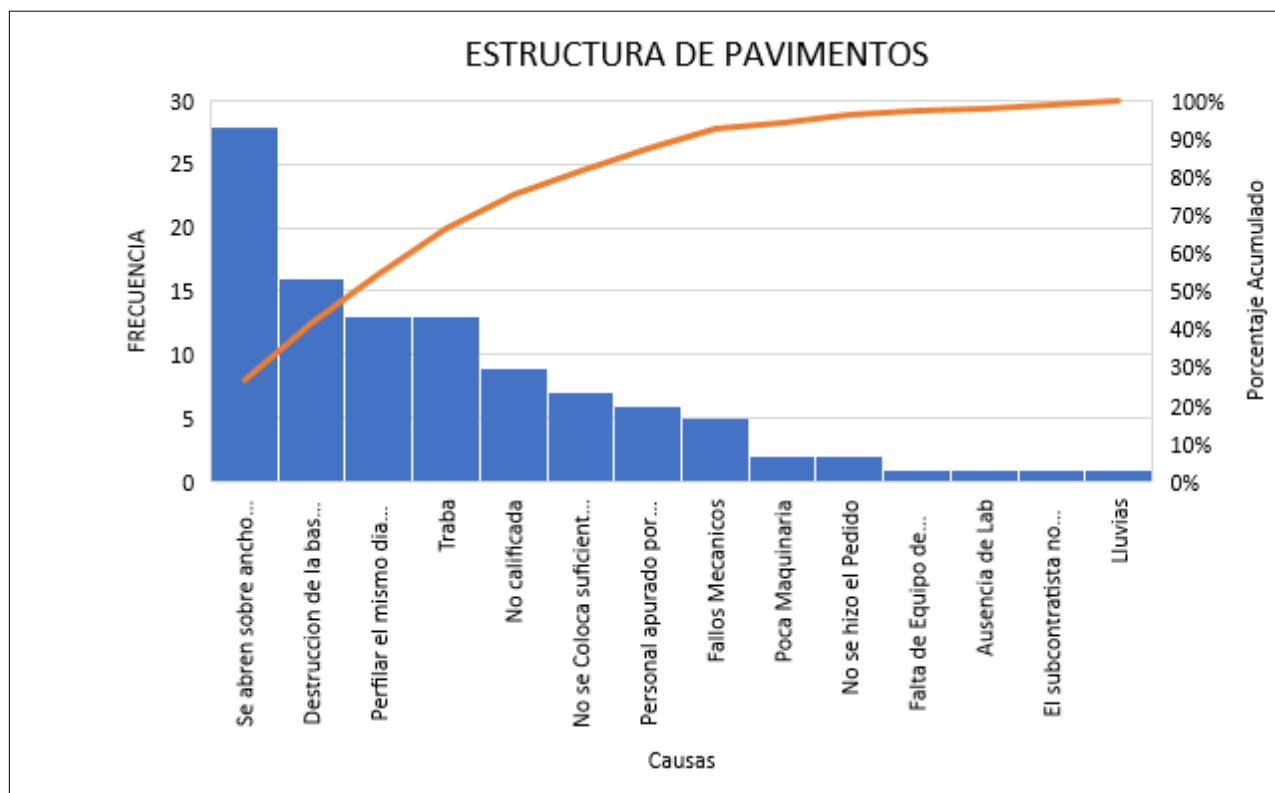


Figura 08. Diagrama de Pareto para Colocación Estructura de Pavimento (Coto, 2018)

## Línea de Tubería.

Al igual que la estructura de pavimento, para la colocación de tubería, se recolectaron datos de campo. Los datos que se mostrará a continuación son tanto de los trabajos diurnos como nocturnos. A continuación, se muestran los datos de número de metros colocados contra los supuestos en el presupuesto.

Se realizaron los diagramas Ishikawa, para determinar posibles causas que afectan el proceso. También se elaboran los diagramas de Pareto con el fin de identificar los factores que mas afectan la actividad y de esta manera proponer soluciones.

La siguiente tabla muestra los resultados para el caso en el que se hizo la colocación diurna.

<b>TABLA 07. ANÁLISIS DE COLOCACIÓN DE TUBERÍA DIURNA</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Tramo</b>	<b>Metros Colocados</b>	<b>Metros Planificados</b>	<b>Diferencia</b>
02/02/2018	RFT06	22	40	-18
05/02/2018	RFT06	38	40	-2
07/02/2018	RMT03	41	40	1
16/02/2018	RMT03	48	40	8
17/02/2018	RMT03	37	40	-3
21/02/2018	RMT03	42	40	2
22/02/2018	RMT03	20	40	-20
27/02/2018	RMT03	30	40	-10
28/02/2018	RMT03	36	40	-4
01/03/2018	RMT03	53	40	13
02/03/2018	RMT03	48	40	8
03/03/2018	RMT03	40	40	0
04/03/2018	RMT03	41	40	1
05/03/2018	RMT03	38	40	-2
06/03/2018	RMT03	10	40	-30
07/03/2018	RMT03	17	40	-23
14/03/2018	RMT03	20	40	-20
15/03/2018	RMT03	28	40	-12
17/03/2018	RMT03	30	40	-10
20/03/2018	RMT04	43	40	3
21/03/2018	RMT04	43	40	3

A continuación se sigue con el Diagrama de Ishikawa que pretende mostrar todos los posibles factores que pueden generar sobrecostos o atrasos en la actividad.

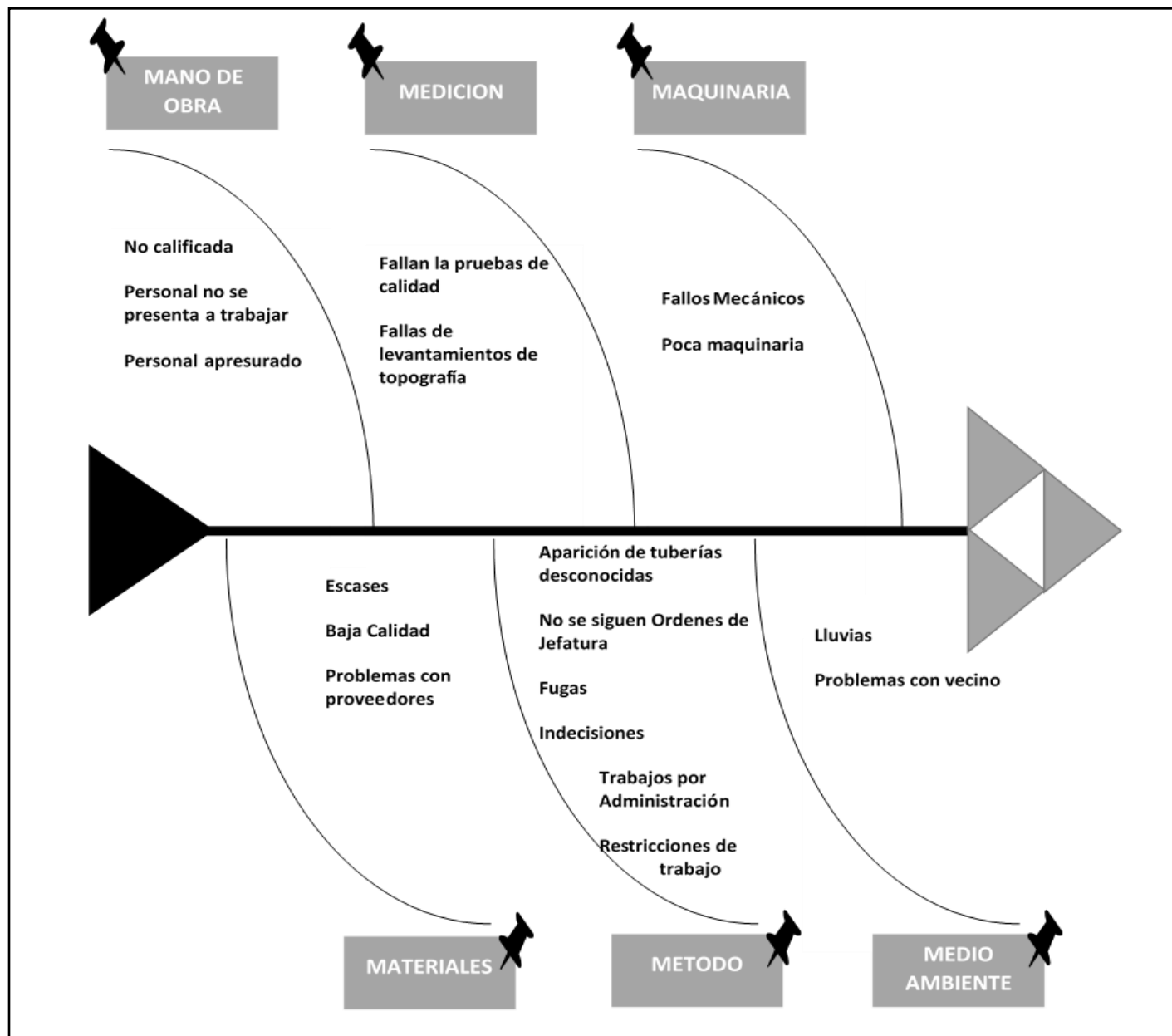


Figura 09. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Tubería Diurna (Coto, 2018)

El siguiente Diagrama de Pareto expone la frecuencia con la que se presentan los factores identificados para la actividad.

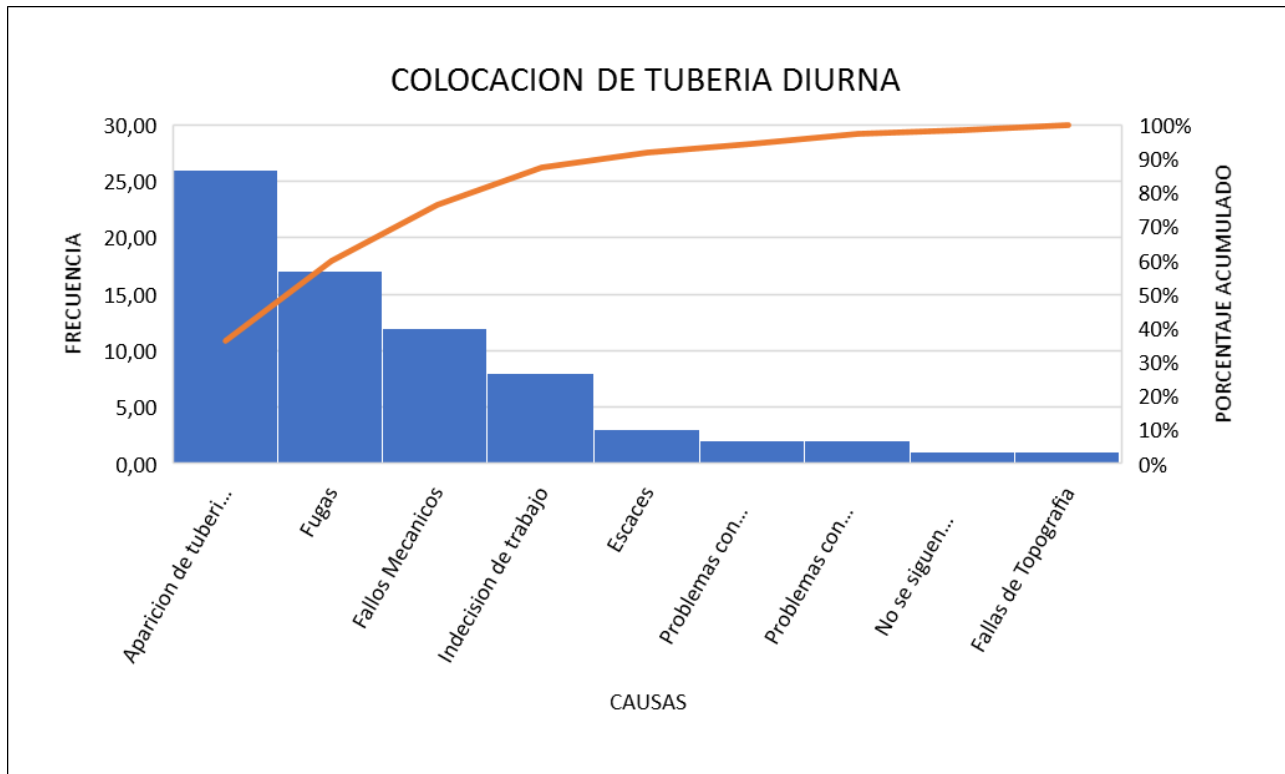


Figura 10. Diagrama de Pareto para Colocación Diurna de Tubería (Coto, 2018)

Las siguientes tablas corresponden a los resultados de la colocación de tubería durante la jornada nocturna.

<b>TABLA 08. ANÁLISIS DE COLOCACIÓN DE TUBERÍA NOCTURNA CUADRILLA DE ELOY</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Tramo</b>	<b>Metros Colocados</b>	<b>Metro Planificados</b>	<b>Diferencia</b>
02/02/2018	RFT 07	24,70	20	4,70
05/02/2018	RFT 07	28,50	20	8,50
06/02/2018	RFT 07	10,00	20	-10,00
07/02/2018	RFT 07	12,60	20	-7,40
08/02/2018	RFT 07	17,80	20	-2,20
12/02/2018	RFT 07	12,80	20	-7,20
13/02/2018	RFT 07	15,90	20	-4,10
15/02/2018	RFT 07	18,10	20	-1,90
17/02/2018	RFT 07	15,00	20	-5,00
20/02/2018	RFT 07	24,20	20	4,20
21/02/2018	RFT 07	7,80	20	-12,20
22/02/2018	RFT 07	7,80	20	-12,20
26/02/2018	RFT 07	21,50	20	1,50
27/02/2018	RFT 07	8,20	20	-11,80
28/02/2018	RFT 07	15,80	20	-4,20
01/03/2018	RFT 07	23,30	20	3,30
02/03/2018	RFT 07	21,50	20	1,50
03/03/2018	RFT 07	21,30	20	1,30
06/03/2018	RFT 07	15,00	20	-5,00
07/03/2018	RFT 07	9,20	20	-10,80
08/03/2018	RFT 07	22,00	20	2,00
13/03/2018	RFT 07	11,60	20	-8,40
14/03/2018	RFT 07	16,80	20	-3,20
15/03/2018	RFT 07	17,00	20	-3,00
16/03/2018	RFT 07	18,30	20	-1,70
18/03/2018	RFT 07	23,80	20	3,80
19/03/2018	RFT 07	29,00	20	9,00
20/03/2018	RFT 07	17,90	20	-2,10



A continuación se sigue con el Diagrama de Ishikawa que pretende mostrar todos los posibles factores que pueden generar sobrecostos o atrasos en la actividad. En la figura posterior que es el Diagrama de Pareto expone la frecuencia con la que se presentan los factores identificados para la actividad.

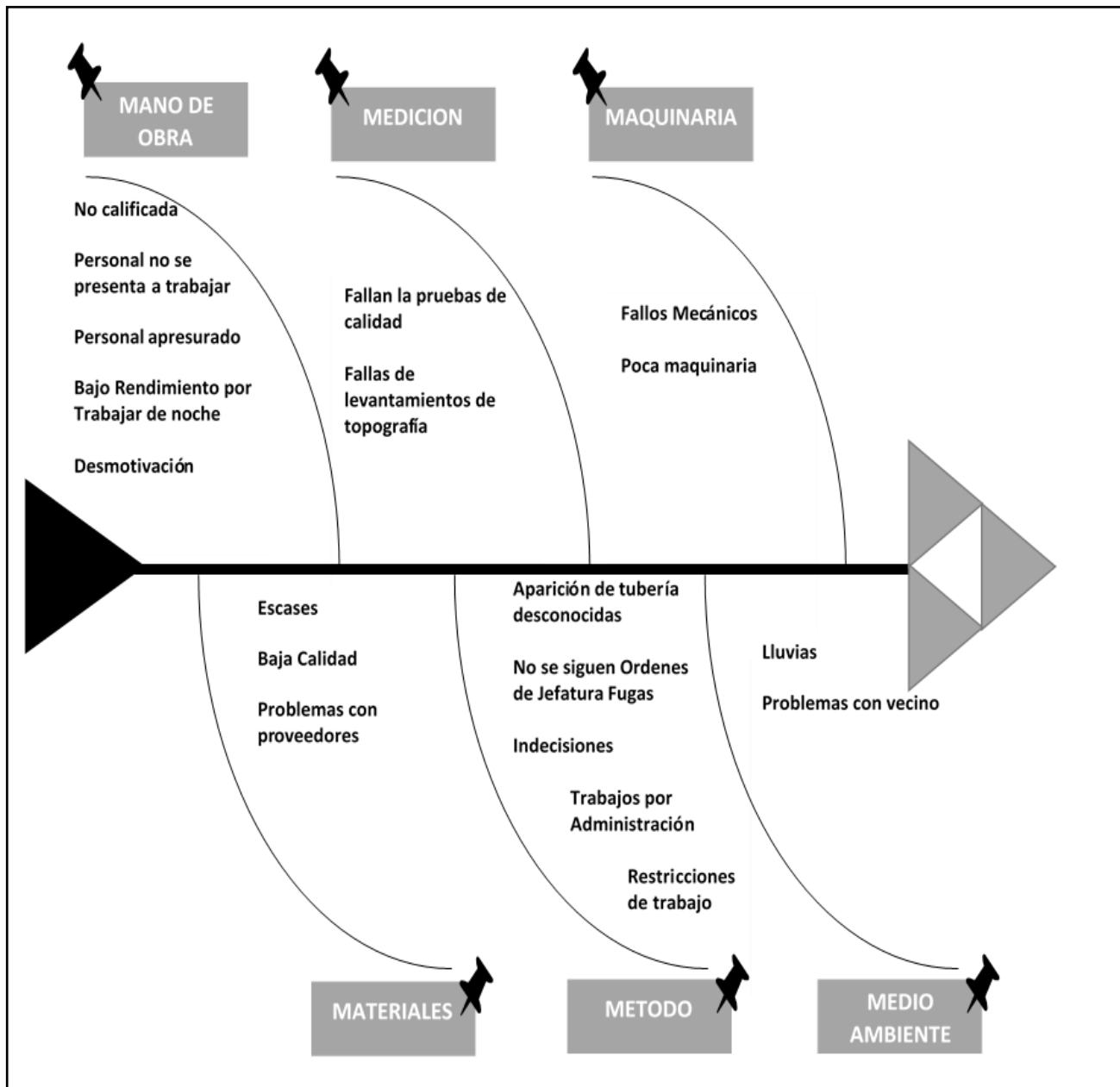


Figura 11. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Tubería Nocturna (Coto, 2018)

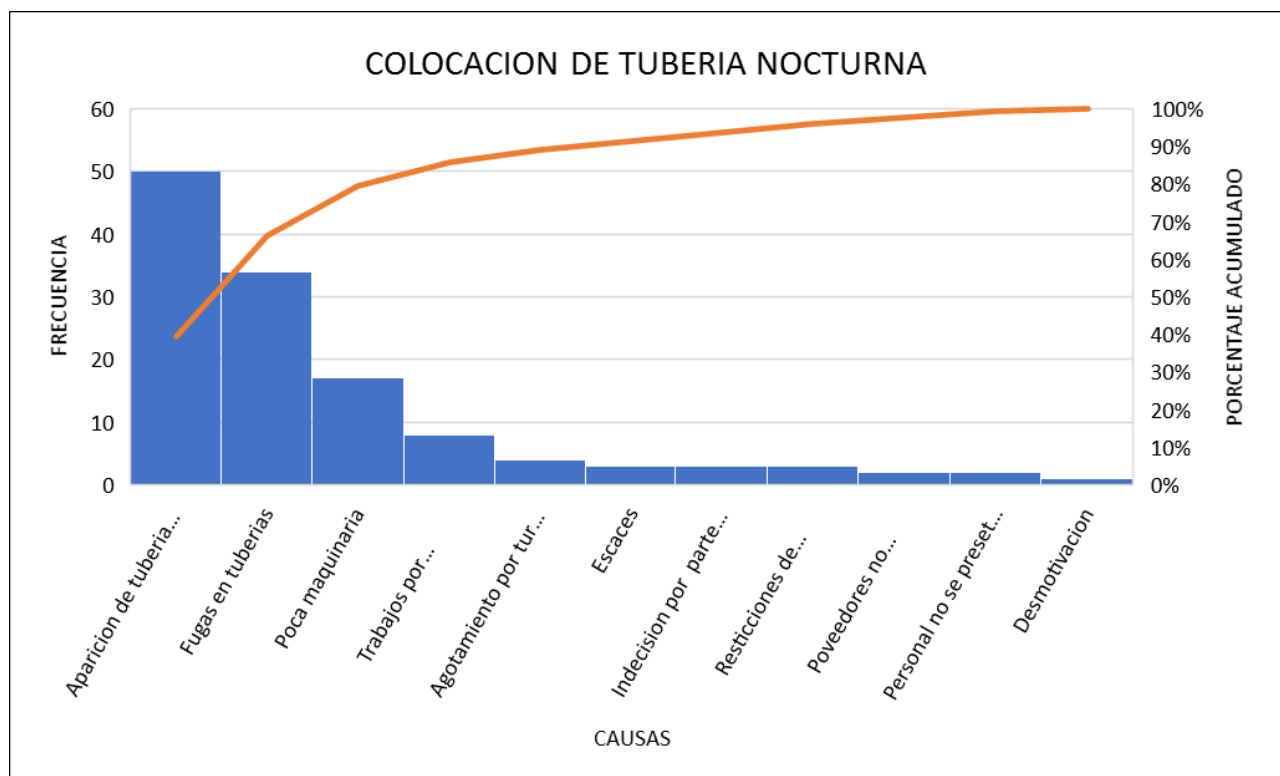


Figura 12. Diagrama de Pareto para Colocación Nocturna de Tubería (Coto, 2018)

## Pozos de Registro.

Para la actividad de pozos de registro, se llevó a cabo el mismo procedimiento que en las actividades anteriores. Se realizan los cálculos para definir la realidad de la actividad.

Se realizan los diagramas de Ishikawa y Pareto y se definen los factores que se deben corregir. A continuación, se muestran los datos recolectados.

**TABLA 09. ANÁLISIS DE COLOCACIÓN DE POZOS DE REGISTRO**

Pozo	Fecha	Porcentaje de Ganancia o Perdida
RFR-207	05/02/2018	38%
RFR-208	05/02/2018	37%
RFR-209	05/02/2018	39%
RMT-132	14/03/2018	30%
RMT-133	14/03/2018	28%
RMR-07	13/04/2018	13%
RMT-127	18/04/2018	2%
RMT-126	18/04/2018	5%
PF-9	19/04/2018	22%
PF-10	19/04/2018	16%
RFT-87	20/04/2018	8%

A continuación se sigue con el Diagrama de Ishikawa que pretende mostrar todos los posibles factores que pueden generar sobrecostos o atrasos en la actividad

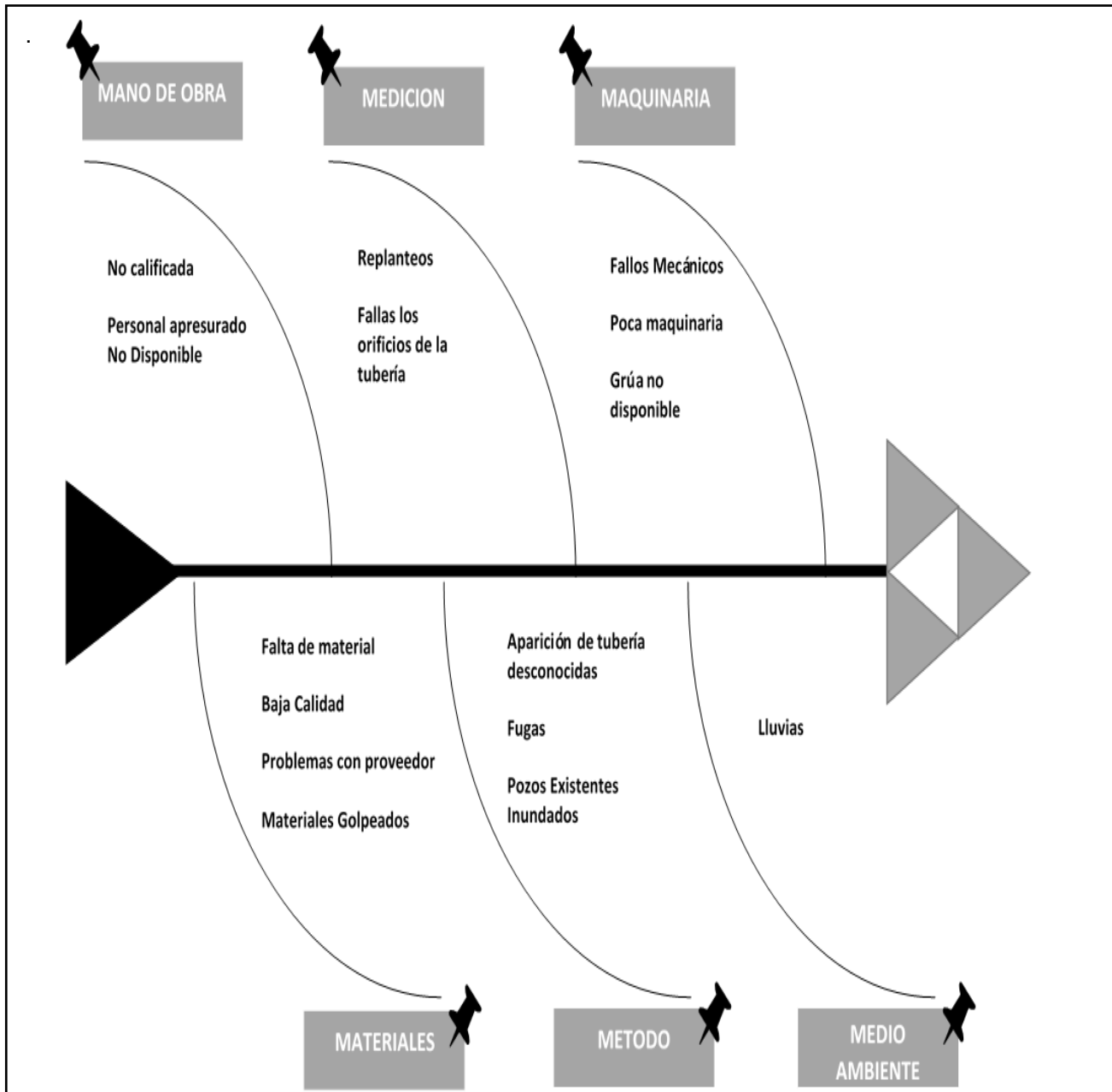


Figura 13. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Pozos de Registro (Coto, 2018)

El siguiente Diagrama de Pareto expone la frecuencia con la que se presentan los factores identificados para la actividad.

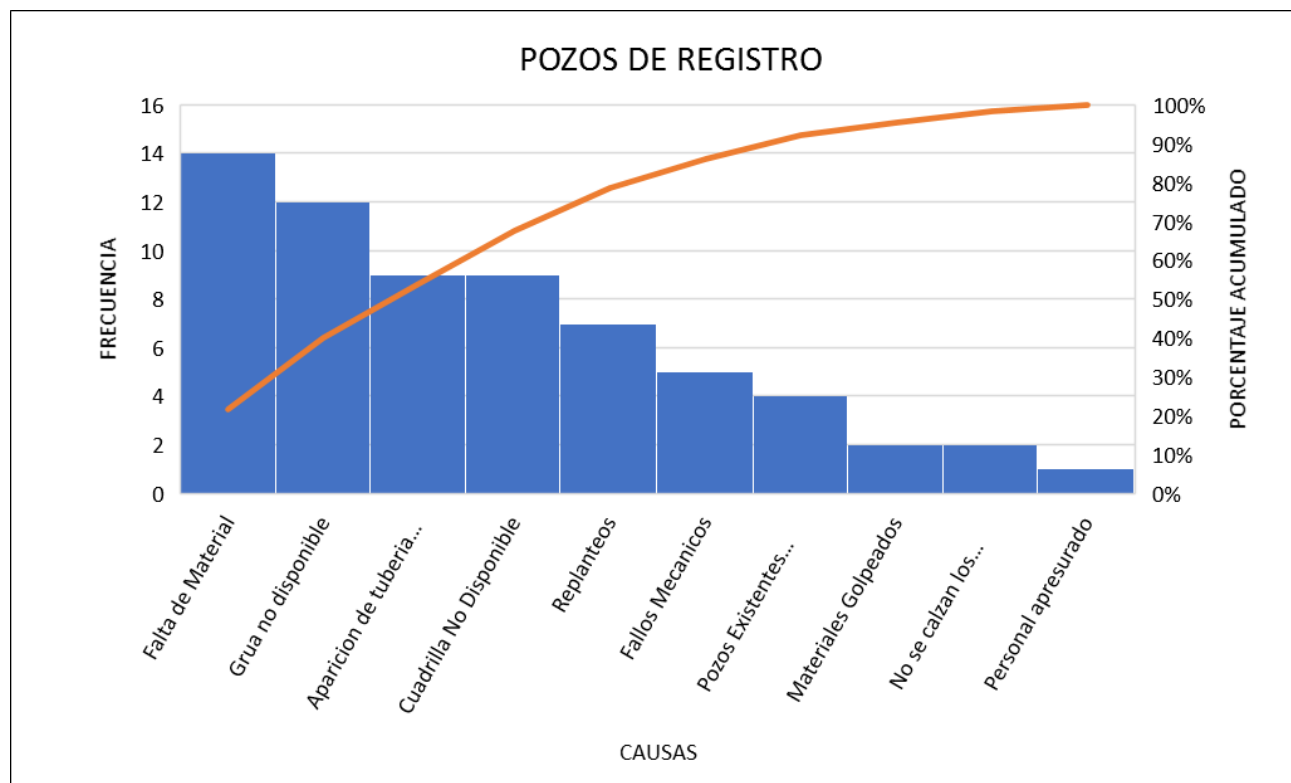


Figura 14. Diagrama de Pareto para Colocación Pozos de Registro (Coto, 2018)

Debido a los resultados que arroja la investigación y que no existe un cronograma para la colocación de pozo de registro se decide realizar un análisis extra. En este se ve la cantidad de pozos que constituyen el proyecto y el plazo y se obtiene en promedio cuantos pozos se deben construir diarios y según los pozos construidos al corte de abril de 2018 y el tiempo que ha transcurrido en promedio cuantos se construyen por día. Esto brindará información sobre cómo se está en plazo para los pozos y cuanto tendrá que construir diariamente para terminar el proyecto a tiempo.

**TABLA 10. ESTADO DE LA PRODUCCIÓN DE POZOS**

Total de Pozos	449
Pozos Construidos a Abril	118
Planificados a construir por días	1,5
Construidos por día	0,5
Nueva Planificación a construir por día	7,5

## Plantel.

Para el caso del manejo del plantel y bodegas se definen aspectos que están generando afectaciones en el proceso constructivos. Se desarrollan diagramas de Ishikawa sin seguir la idea de las 6 M (Materiales, Mano de Obra, Medio Ambiente, Método, Medición y Maquinaria).

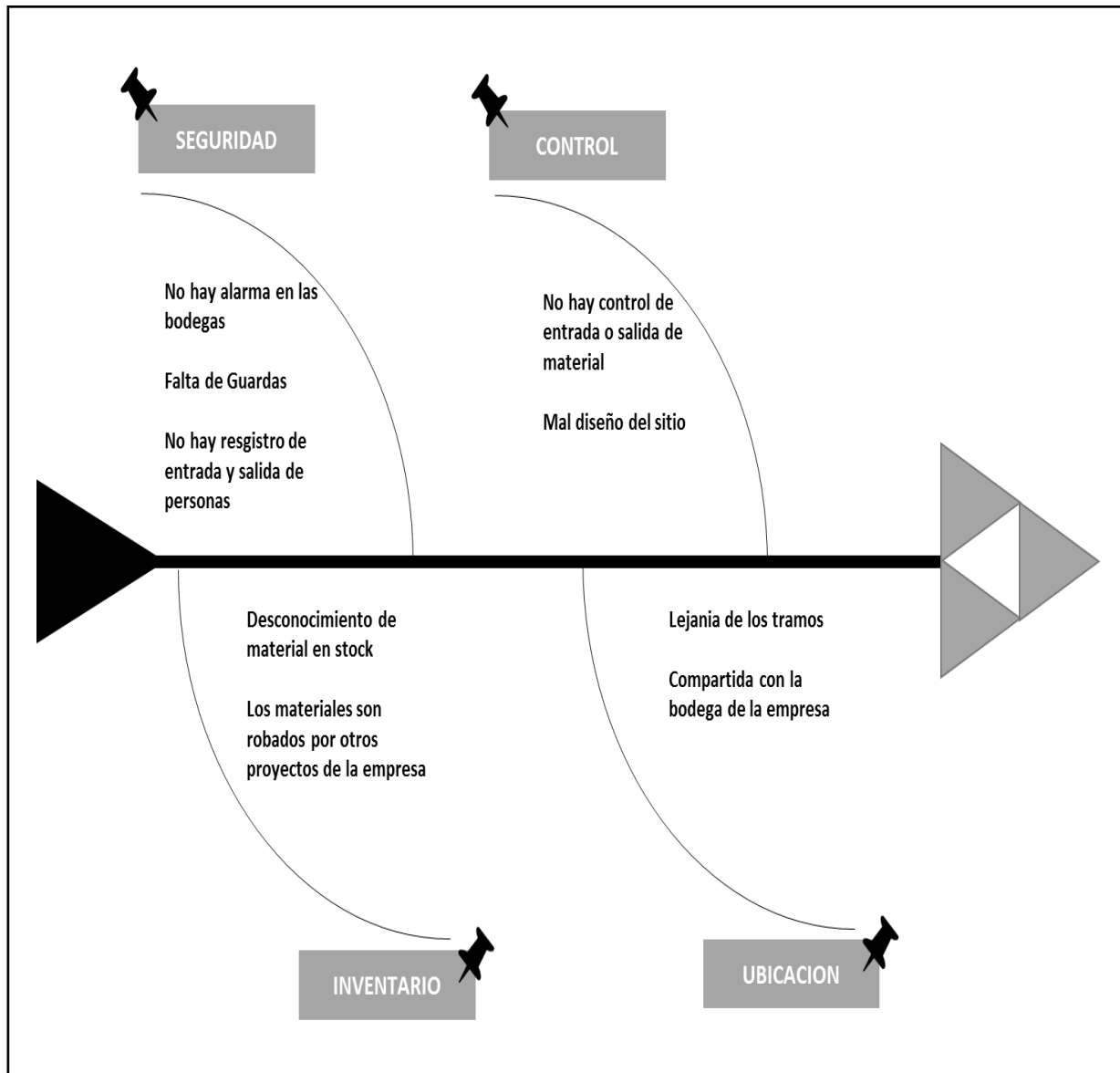


Figura 15. Diagrama de Ishikawa para el Manejo de Bodegas (Coto, 2018)

## Licitación.

Para el proceso de licitación, al igual que el punto anterior, se presentan diagramas de Ishikawa para exponer los factores que afectan este proceso. A continuación, se muestra la variación del Diagrama de Ishikawa para el manejo de bodegas y el proceso de licitación.

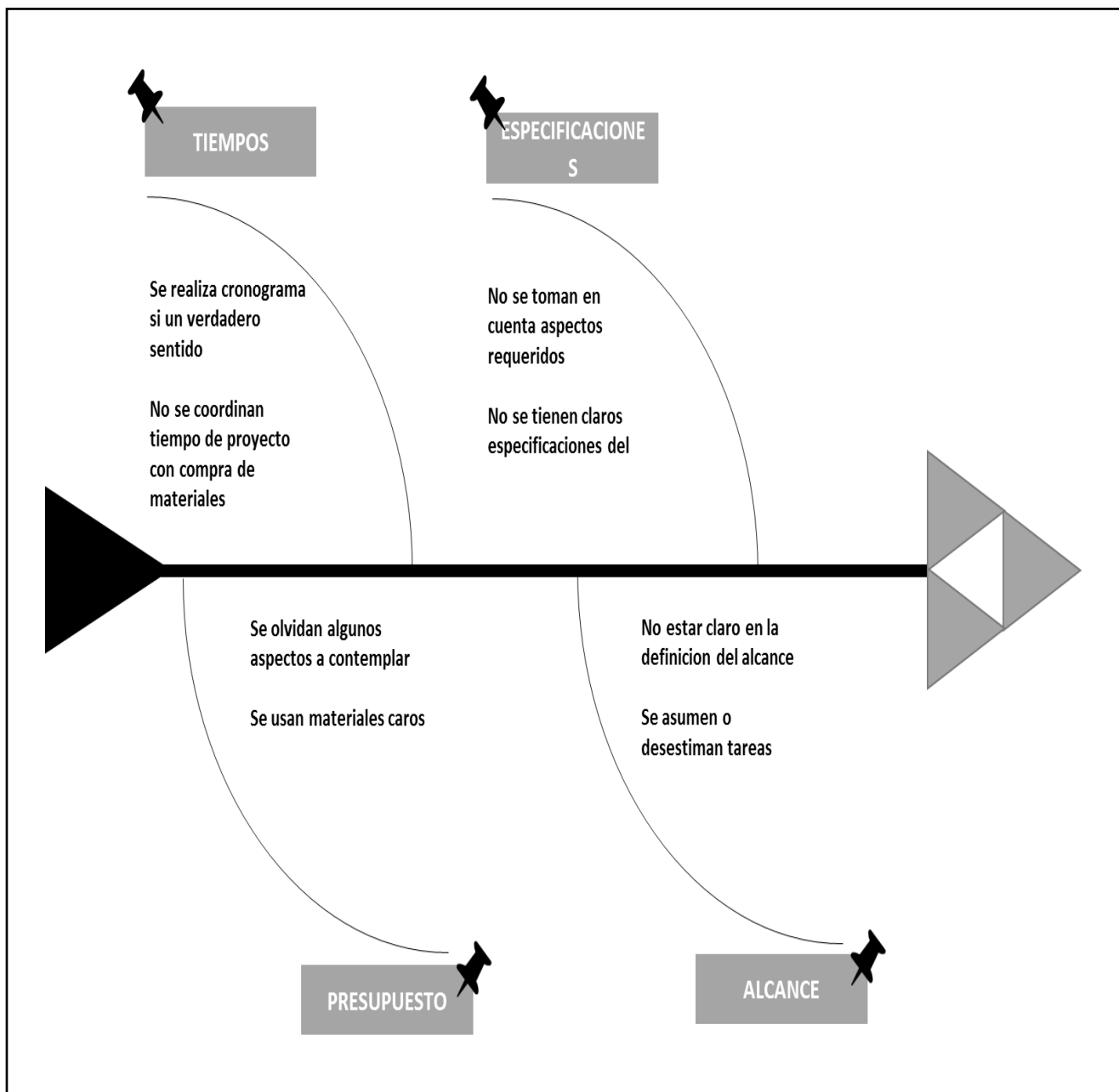


Figura 16. Diagrama de Ishikawa para Proceso de Licitación (Coto, 2018)

# Investigación de Buenas Prácticas.

A continuación, se presentan las filosofías y métodos escogidas a partir de la investigación realizada. Estas son las utilizadas para presentar las soluciones a los problemas identificados en los puntos anteriores.

## Lean Construction.

Lean construction es una filosofía que se basa en la eliminación de todo aquello que sea innecesario y que así deje de consumir recursos y además que los procesos se lleven a cabo de la manera más eficiente. Raíz de los resultados presentados en el punto anterior se muestra como existen problemas de atrasos y sobrecostos por lo que lean es ideal, esta busca que cada proceso se realice en el tiempo debido y así entregando al cliente en plazos correcto y con la calidad garantizada.

Como punto importante es que busca mejorar los procesos sin el aumento de recursos, reduciendo los costos del proyecto. También incluye el concepto llamado just in time, en el que el flujo de los materiales es constante y la materia prima llega solo cuando es completamente necesario.

Con los conceptos expuesto permiten evidenciar que Lean es completamente aplicable al proyecto y a la empresa. Los atrasos y sobrecostos pueden ser solucionados por medio de soluciones basadas en esta filosofía.

## Last Planner System (LPS).

Este sistema, se escoge como solución a los problemas de falta de recursos y atrasos en actividades ya que con el Last Planner se pasa a buscar una planificación integral. Con este método se utiliza el plan intermedio y por medio de reunión cada encargado solicita lo que necesita para trabajar. Además, al encontrarse trabajando con una entidad pública existen problemas de permisos o según los factores identificados como escases de materiales, se puede tener un plan intermedio de respaldo en

caso de alguna afectación y de esta manera no dejar de producir y siempre cumplir la cuota establecida.

De esta manera, se expone como el LPS, es una herramienta fundamental para la planificación y la culminación de las actividades en el tiempo requerido. Aplicable a cualquier proyecto y como solución a factores como falta de material, mejorar el tiempo de entrega de los productos y falta de planificación. Cabe destacar que como ya se mencionó LPS es solo una herramienta y es la forma en la que se le de su uso la que garantizara su éxito.

## Six Sigma.

Se escoge Six Sigma ya que es una metodología que se basa en medir eficiencia en los procesos y hallar soluciones o alternativas para mejorar. Se centra en mejora continua de los procedimientos hasta llegar a un nivel definido. Esta metodología es ideal por sus etapas, la cuales son, definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

Tiene como ventajas dentro de la organización que se tienen controlados los procesos y se encuentran fallas a tiempo. Busca la calidad y la alta productividad en los productos. Ve como fundamental la integración de los profesionales ya que la mejora de los procesos debe venir por medio de un trabajo en conjunto de los involucrados. Es aplicable a proyecto ya que utilizando la misma metodología para recolectar datos que uso en este proyecto se puede seguir obteniendo información de campo y continuar midiendo la rentabilidad de las actividades.

## Plan para Reducciones de los Factores Identificados.

Para finalizar el proyecto se realiza un plan para atacar a los factores identificados en el punto del Estado del Proyecto. Se proponen herramientas para reducir los problemas de

atrasos y sobre costos a nivel general del proyecto.

Se desarrollan propuestas de buenas prácticas para los factores identificados que representan el 80% de las causas de atrasos y sobre costos. Se realiza para las tres actividades escogidas y la colocación de tubería se divide en colocación nocturna y diurna. Además, se proponen para los dos procesos externos que se consideraron.

Seguidamente se presentan las propuestas a los factores identificados para cada uno de los procesos y actividades, cabe destacar que todo lo que se propone ha sido comentado con el cliente y va de la mano con el alcance del contrato original.



CUADRO 01. PROPUESTA A NIVEL DE PROYECTO EN GENERAL	
Factores	Propuesta de Solución
Atrasos	<p>Como solución a atrasos se propone implementar el Last Planner System, como medida de evitar atrasos en las actividades, como herramienta para integrar cada persona que actúa dentro del proceso de producción, como forma de tener la materia prima cuando esta sea requerida y como una forma de una planificación dinámica e integral, se escoge esta ya que dentro de los encargados del proyecto ya existe la iniciativa de utilizarla en esta obra para posteriormente continuar su uso en futuros proyectos. Para iniciar se recomienda utilizar el plan intermedio e integrar solamente a los profesionales del proyecto, incluyendo un representante del cliente, además de realizar dos planes intermedios, sea uno el objetivo y uno de respaldo en caso de suceder eventualidades.</p>
Sobrecostos	<p>Los sobrecostos se trabajan en conjunto con las soluciones puntuales para las actividades y con la propuesta del Last Planner System, se propone utilizar la metodología Six Sigma de definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Se plantea que para llevar un control de los costos se continúe con la medición de los recursos que están consumiendo las actividades para determinar si las propuestas fueron acertadas o se deben elaborar nuevas mejoras por lo que para llevar a cabo esto se debe seguir usando la hoja de control en campo como método de recolección de datos para la evolución de los procesos.</p>

<b>CUADRO 02. PROPUESTA PARA LA COLOCACIÓN DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>	
<b>Factores</b>	<b>Propuesta de Solución</b>
Se abren sobre-anchos por mal estado de la calle actual	Ya que los sobre-anchos no están dentro del contrato y se abren por solicitud de la inspección del cliente se propone renegociar toda aquella área que exceda el 1,2m de ancho y se cobre como trabajo por administración y que se haga no solo la compensación económica sino también sobre plazos ya que esto no permiten que se avance lo planificado por día. Esta negociación es viable ya que en algunos casos fue realizada con éxito y se puede comprobar toda área extra por medio de levantamientos topográficos y registros fotográficos del trabajo en sitio, presentando un informe cada vez que ocurra esta situación.
Destrucción de la base estabilizada cuando se remueve el material que lo cubre antes de pavimentar	Solicitar que el trabajo no se utilice los dientes del back hoe y se use la parte posterior de la pala ya que se concluyó que de esta forma no se destruye la base, aunque es más lento se asegura la calidad de los productos y la eliminación de reprocesos. Además, inspección en campo de los ingenieros para asegurar que se realice de manera cuidadosa y de la manera especificada
Perfilar el mismo día que se va a colocar la carpeta	Perfilar la zanja el día anterior a realizar el trabajo para de esta manera solo colocar el pavimento y el trabajo se ejecute más rápido y no se enfríe la mezcla. Con inspecciones a los sitios de trabajo se define de antemano los tramos que están listos para pavimentar y se notifica a la cuadrilla que detalle la zanja para al día siguiente solamente colocar el asfalto, adicionalmente se puede realizar reparación en la base estabilizada con toba cementó en caso de existan algunos sobre espesores, este método está aprobado por inspección por lo que puede ser utilizada.
Colocación de asfalto para cubrir la emulsión (Traba)	No permitir el uso de traba como sello para la emulsión, realizar visita al sitio el día antes y definir logística de colocación, aparte de esto no es permitida según las especificaciones en el cartel por lo que si se hace e inspección (AyA), lo tienen derecho a pedir que levanten la carpeta colocada. Además, el servicio de la colocación del asfalto es un subcontrato por lo que la empresa puede imponer algún tipo de multa si el subcontratista incurre en este acto.
Mano de Obra no calificada	Hablar con operador de maquinaria y encargados para explicar el método de trabajo que se debe emplear. Inspeccionar el trabajo para verificar que se realice como se solicita. Esto debe realizarse antes de iniciar los trabajos.

<b>CUADRO 03. PROPUESTA PARA LA COLOCACIÓN DE TUBERÍA NOCTURNA</b>	
<b>Factores</b>	<b>Propuesta de Solución</b>
Aparición de tubería desconocidas	Realizar sondeos previos a iniciar los trabajos para determinar las tuberías existentes, esto con el cliente y por medio de geo- radares, ya que ellos cuentan con este equipo.
Fugas en tuberías	Negociar que la empresa pueda reparar fugas inmediatamente sin esperar que la cuadrilla del AyA llegue a repáralo. Además, esta se complementa con la propuesta para la solución de aparición de tuberías desconocidas.
Poca maquinaria	Aumentar los recursos de noche o solicitar una extensión de la jornada nocturna.

<b>CUADRO 04. PROPUESTA PARA LA COLOCACIÓN DE TUBERÍA DIURNA</b>	
<b>Factores</b>	<b>Propuesta de Solución</b>
Aparición de tubería desconocidas	Realizar sondeos previos a iniciar los trabajos para determinar las tuberías existentes, esto con el cliente y por medio de geo - radares, ya que ellos cuentan con este equipo
Fugas	Negociar que la empresa pueda reparar fugas inmediatamente sin esperar que la cuadrilla del AyA llegue a repáralo. Además, esta se complementa con la propuesta para la solución de aparición de tuberías desconocidas.
Fallos Mecánicos	Tener equipo de respaldo o un plan B en caso de suceder un fallo mecánico.

## CUADRO 05. PROPUESTA PARA LA COLOCACIÓN DE POZOS DE REGISTRO

Factores	Propuesta de Solución
Falta de Material	Buena coordinación y planificación con el proveedor, hacer pedidos contra cronograma y entregarle al proveedor este mismo cronograma con el fin de que esté al tanto de las fechas en las que se requiere el material. Además, debe existir un compromiso por parte del proveedor para entregas a tiempo.
Grúa no disponible	Tener equipo que esté disponible 100% para el proyecto y equipo de respaldo cuando no se pueda contar con este por fuerza mayor.
Aparición de tubería desconocidas	Realizar sondeos previos a iniciar los trabajos para determinar las tuberías existentes, esto con el cliente y por medio de geo - radares, ya que ellos cuentan con este equipo.
Cuadrilla No Disponible	Tener cuadrilla que esté disponible 100% para el proyecto y aumentar a una segunda cuadrilla para disminuir el atraso en colocación de pozos.
Replanteos	Realizar sondeos para conocer cualquier interferencia que pueda generar un replanteo. En caso de que exista un replanteo que el cliente lo apruebe en sitio junto con supervisión.

CUADRO 06. PROPUESTA PARA EL MANEJO DEL PLANTEL	
Factores	Propuesta de Solución
Seguridad	<p>Para el manejo de bodegas en la parte de seguridad se recomienda perimetrar la zona para que este bien claro la parte que pertenece a la empresa. Se debe llevar un registro de personas que entran y salen, además en caso de ser una persona ajena a la empresa debe el guarda se seguridad debe ser notificado previamente, de esta manera se evitan los robos por parte de personas externas. Se propone la instalación de una alarma de seguridad en las bodegas, para los días de salida en los que no queda nadie dentro del plantel.</p>
Control	<p>Debe existir además un control de lo que entra y sale de la bodega en temas de material, se debe de llevar un registro formal y debe estar documentado quien es el encargado del despacho y el recibido del material en el caso de las entradas y quien se encarga de llevar el material al campo y quien da la autorización para su uso en el caso de las salidas. Parte del control, es el orden dentro del plantel por lo que una distribución en planta bien planificada ayudaría a tener espacio para mayor cantidad de material en stock, ya que todos los días se requiere lastre, arena y cemento y no siempre se tiene. Aparte de esto se tendría más claro dónde buscar los materiales y donde acomodar cuando despacha.</p>
Inventario	<p>Los procesos de mejora de inventario van de la mano con el punto anterior, se propone la implementación de un inventario que se vea alimentado por el proceso de control de entrada y salida de material. Este ayudara a los ingenieros a coordinar pedidos de material debido a que mostraría cuanto material hay en bodega y según la información del Last Planner, propuesto en el Cuadro 01, se hacen pedidos en el tiempo indicado, sin dejar la bodega saturada ni vacía.</p>

## CUADRO 07. PROPUESTA PARA PROCESO DE LICITACIÓN

Factores	Propuesta de Solución
Tiempo	Para el proceso de licitación después de conocer que el cronograma de trabajo no se sigue y que faltaron actividades de programar o que algunos rubros se presupuestaron más barato de lo esperado. Se propone realizar el cronograma completo y listo para ejecutar reduciendo los cambios al mínimo. Tener en cuenta que se trabaja sobre vía pública entonces realizar un cronograma de permiso paralelo al cronograma de trabajo.
Presupuesto	Leer y analizar cada punto que se solicita en el cartel para contemplar y hacer un listado de estas para que luego sean contempladas dentro del presupuesto. Además, de estar conscientes de todos los elementos que se deben tener para poder entrar a los frentes de trabajo, ya sean materiales de trabajo, así como equipo de protección especial para los colaboradores.
Alcance	Estar claros en el alcance, para de esta manera no realizar trabajo que no se puedan cobrar o cuales tareas hay que realizar como trabajos por administración. Adicional a esto, no realizar ningún trabajo extra al cartel, aunque sea solicitado por la administración hasta que se acepte que haya una compensación económica y un reajuste de cronograma por el tiempo perdido realizando el trabajo extra.

# Análisis de los resultados.

El presente análisis de resultados se basará en los resultados expuestos en el punto anterior y será desarrollado según el orden en que estos fueron mostrados con el fin de una mejor comprensión del lector. El análisis se centrará en como la forma de trabaja genera las causas de sobre costos y atrasos y como las buenas prácticas propuestas son ideales para la reducción de estas.

El primer punto descrito fue la manera de trabaja y el manejo recursos, este será analizado en conjunto con el segundo punto donde se expone el estado en el que se encuentra el proyecto. Para iniciar se determinó que el cronograma no es seguido para escoger cual frente de trabajo abrir, esto genera una afectación sobre el cronograma, ya que el manejo de recursos que se planificó en él se ve distorsionado. Estos atrasos se muestran en la Tabla 01. Porcentaje de Avance Real vs Versión 3 de Cronograma, donde con respecto a la tercera versión del cronograma el proyecto se encuentra 13% más atrás de lo debido según el corte realizado en diciembre del 2017.

Como parte de la evidencia de que el proyecto se encuentra atrasado es los flujos de dinero que se realizan mes con mes con la facturación. Según la Tabla 02. Flujos Reales vs Flujos Planificados solo en el mes de octubre se facturo más de lo que se había programado. A raíz de esto se realizan ajustes para los siguientes meses para saber cuánto habría que facturar para terminar el proyecto en el plazo estipulado, como muestra la Tabla 03. Flujos Real Adaptados. Se realiza la misma adaptación para la colocación de tubos cuando no se alcanza los metros esperados, como expone la Tabla 05. Cantidad de Metros a Colocar en los Próximos Meses, las sumas son mucho mayores que las alcanzadas mostradas en la Tabla 04. Cantidad de Metro Colocados donde están presenten los metros colocados en los meses pasados.

Como parte de la evolución del proyecto se dividió en tres actividades ya que estos son los tres rubros pagados, estructura de pavimento se paga, el metro cuadrado colocado, colocación de tubería, el metro lineal colocado y pozos de registro el metro de profundidad colocado. Para la actividad de estructura de pavimento se tienen altos déficits de dinero como se visualiza en la Tabla 06. Análisis de la Colocación de la Estructura de Pavimentó. El diagrama de Ishikawa en la Figura 07. Diagrama de Ishikawa para Estructura de Pavimento muestra todas las posibles causas que están generando estos problemas sobre el proceso para buscar en campo cuales realmente ocurren y con qué frecuencia. A partir del Figura 08. Diagrama de Pareto para Colocación Estructura de Pavimento se determinaron cuáles son los factores que tienen más influencia sobre la actividad, siendo estos los que generan el 80% de los sobre costos y atrasos.

Para colocación de línea de tubería, cuando se realizó el presupuesto se hace bajo un rendimiento diario de metro colocados, si este no se alcanza empiezan a existir los sobre costos. Se dividió la actividad en dos ya que se trabaja bajo dos turnos, uno diario de 6 am a 5 pm aproximadamente y un turno nocturno de 9 pm a 5 am. Existen una cuadrilla trabajando de día, esta debe colocar por lo menos 40 metros de tubería para cubrir lo que viene en el presupuesto, los datos de metro colocados se muestran en la Tabla 07. Análisis de Colocación de Tubería Diurna, aquí se muestra como en gran cantidad de días no se cumple con los metros esperados, e incluso en algunas se llega solamente a la mitad o menos. Para el turno nocturno existen dos cuadrillas y cada una debe colocar 20 metros por jornada, la cantidad se reduce debido a que la cantidad de horas se limita. Según la Tabla 08. Análisis de Colocación de Tubería Nocturna Cuadrilla Eloy, los metros

planificados no se logran en la mayoría de los días.

Se realizaron diagramas de Ishikawa y de Pareto para la actividad de colocación de tubería con el mismo fin con el que se realizaron en la actividad de estructura de pavimentos. Otra razón por la que se dividió en dos la actividad fue que los factores que afectan a cada uno pueden variar ya que se desarrollan bajo diferentes circunstancias. Como muestran la Figura 09. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Tubería Diurna y Figura 11. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Tubería Nocturna. A pesar de esto, las afectaciones sobre las actividades son prácticamente las mismas como muestran la Figura 10. Diagrama de Pareto para Colocación Diurna de Tubería y Figura 12. Diagrama de Pareto para Colocación Nocturna de Tubería.

En cuanto a los pozos de registro según la Tabla 09. Análisis de Colocación de Pozos de Registro, los porcentajes muestran que cada vez que se construye un pozo hay ganancia para la empresa. Lo que demuestra que constructivamente el proceso se está realizando de la manera adecuada. En la Figura 13. Diagrama de Ishikawa para Colocación de Pozos de Registro se muestran todas las posibles causas de afectaciones sobre el proceso. A partir de la contabilización de los factores se realizó la Figura 14. Diagrama de Pareto para Colocación Pozos de Registro, aquí se muestra nuevamente que los factores que afectan esta actividad son ajenos a la metodología constructiva propiamente.

Debido a esto y a que no existe la actividad de pozos de registro en el cronograma se decide realizar un análisis extra a la actividad, con el fin de saber el estado de actividad según los plazos. La Tabla 10. Estado de la Producción de Pozos muestra que para Abril se han construido 118 pozos de los 449 que componen el proyecto. Es decir, se avanza a 0,5 pozos por día cuando se debió trabajar 1.5 pozos por día. Para poder finalizar el proyecto a tiempo se deberán construir 7.5 pozos por día.

Para el caso del manejo de bodegas y proceso de licitación a partir de la información obtenida en la situación del proyecto, se

identificaron factores que afectan la construcción y que generan sobrecostos y retrocesos. Estas se grafican en la Figura 15. Diagrama de Ishikawa para el Manejo de Bodegas y Figura 16. Diagrama de Ishikawa para Proceso de Licitación.

La investigación de las buenas prácticas será analizada en conjunto con las propuestas de buenas prácticas para los factores identificados. Para la selección de las buenas prácticas se escogió Lean debido a que una filosofía para la mejora continua de los procesos donde se pretende maximizar la eficiencia y utilizar la mínima cantidad de recursos y a partir del estado en el que se encuentra el proyecto se debe buscar la manera de mejorar los procesos para poder llegar al cierre con los procesos ya corregidos para no cometer los mismos errores en próximos proyectos. Todas las propuestas realizadas funcionan en conjunto como un plan para poder desarrollar de la obra eliminando atrasos y sobrecostos.

En esta parte primero se presentan las propuestas de forma general como muestra el Cuadro 01. Propuesta a Nivel de Proyecto en General. Se propuso la herramienta de Last Planner System (LPS), debido a que esta busca una planificación integral para poder cumplir con plazos. Muchos de los atrasos del proyecto se deben a que no existe coordinación ya sea entre encargados de proyecto (Ingenieros y Maestros de obra) o con los proveedores, esto principalmente para las entregas fuera del plazo. Mientras que para los sobrecostos también está relacionado con el LPS ya que al existir un eficiente manejo de recursos se presentan menos desperdicios y por ende se ve reflejado en los costos.

Para poder medir esto se plantea utilizar la metodología Six Sigma, ya que al existir un método para recolección de datos en campo y las herramientas para medir los costos de las actividades se propone seguir haciéndolo para continuar mejorando los procesos hasta que sus defectos sean mínimos.

Para las actividades se tomaron las causas que más afectan el proceso, se desarrollaron primero para la actividad de estructura de pavimento. Las propuestas y los



factores se exponen en el Cuadro 02. Propuesta para Colocación de Estructura de Pavimento. Como este muestra las principales causas de afectación sobre la actividad son los sobre anchos y estos no son principalmente por solicitud de inspección, por lo que se vuelve algo ajeno al proceso por lo que su solución es mas de renegociación con el cliente para compensaciones tanto económicas como en plazos ya que si es una afectación directa al programa del proyecto.

En el caso de los otros factores son directamente en el proceso constructivo por lo que, para evitar re trabajos, propiciar el mejor uso de los recursos con los que se cuenta y se cumpla con la calidad se propusieron las soluciones del mencionado cuadro. Además, se ve como las inspecciones dentro de la actividad son indispensables tanto antes de iniciar como en la ejecución,

Para la actividad de colocación de tubería se detectaron que los factores que afectan a ambas modalidades son muy similares sin importar que se trabaja bajo los diferentes ambientes. Las soluciones presentadas son las mismas, pero con un enfoque diferente ya que se considera que la reducción en el tiempo de trabajo y contar con la misma maquinaria que de día afecta la producción, ya que a pesar de trabajar de 9 pm a 5 am muchas de estas horas son dedicadas a limpiar y rellenar para que la calle pueda ser usada durante el día por lo que no se produce ya que estas son actividades contributivas.

Aumentando los recursos como personal o maquinaria se pueden realizar varias tareas al mismo tiempo sin parar la producción. Las otras propuestas van dirigidas a aumentar la eficiencia y evitar que los trabajos se detengan por factores que pueden ser previstos si hay una buena planificación de detección de tuberías como muestran el Cuadro 03. Propuesta para la Colocación de Tubería Diurna y Cuadro 04. Propuesta para la Colocación de Tubería Nocturna.

La última actividad en la que se propusieron buenas prácticas fue para pozos de registro. Los factores identificados son principalmente externos al proceso constructivo,

especialmente a la disponibilidad de materiales, equipo o de personal, como se presenta en el Cuadro 05. Propuesta para la Colocación de Pozos de Registro. Por lo que la planificación y organización es imprescindible con el fin de producir la cantidad de pozos esperados, además de tener recursos fijos para trabajar en el proyecto.

Los otros dos procesos a los que se le propusieron mejoras son el manejo del plantel y el proceso de licitación. Para el manejo del plantel se plantean soluciones mostradas en el Cuadro 06. Propuesta para el Manejo de Plantel, son principalmente para el control de materiales y del conocimiento de que se tiene y de que se tiene escasez. La utilización de un inventario sería útil para los ingenieros de modo que saben cuándo realizar los pedidos de material, herramienta útil dentro de la planificación del proyecto. Además, e tener bien definido aspectos como cuales materiales pertenecen a cada proyecto o que personas pueden entrar a la zona. Esto puede llegar a siempre tener materiales disponibles para los trabajos no dejar a los colaboradores sin tareas y tener que pagarles sin haber trabajado y que esto corresponda a días de atraso.

. En el Cuadro 07. Propuesta para Proceso de Licitación se desarrollan tres puntos, mientras que en Figura 16. Diagrama de Ishikawa para Proceso de Licitación se desarrollaron cuatro esto fue porque la parte de especificación se propone implícitamente dentro de los otros puntos ya que tienen importancia en cada parte del proceso. Se plantean soluciones en este proceso ya que una buena licitación lleva a un buen desarrollo del proyecto ya que se tiene claro los caminos a seguir, los materiales a usar, los tiempos de entrega, la calidad requerida entro otros aspectos que son importantes en la ejecución.

Cada una de las propuestas se realizó con base en la filosofía lean de mejora continua, para tratar de que no se usen recursos innecesariamente y que exista una planificación en conjunto con el fin de que la empresa la implemente. Deben ser evaluadas para determinar si están cumpliendo su cometido, además de ubicar factores para generar posibles soluciones. Adicionalmente, lo planteado es en

base a lo permitido en el cartel y en el contrato  
por lo que nada va en contra de lo legal.

# Conclusiones.

- Existe un descontrol en el manejo de los recursos de la empresa, a nivel de personal de trabajo, equipo y de materiales, que se refleja en la falta de material, desperdicios, cuadrillas no disponibles cuando se necesitan, falta de equipo de respaldo o baja inspección en el campo.
- El no seguir el cronograma de trabajo, ha llevado a un desconocimiento por parte de los encargados del estado del proyecto lo cual genera atrasos considerables.
- La actividad de estructura de pavimento está generando pérdidas para la empresa ya que no se están cubriendo los costos de su ejecución.
- La mala planificación y el poco control sobre el uso de recursos genera que no se alcance la producción esperada y que se eleven los costos.
- La actividad de colocación de tubería no llega a los rendimientos esperados, por lo que genera sobre costos y atrasos en el cronograma.
- Pozos de registro no llegan a la producción diaria planificada, pero a raíz de la eficiencia de la cuadrilla encargada de la actividad cuando se trabaja en ella genera ganancias para la empresa.
- La ubicación del plantel genera largos tiempos de espera para la llegada de los materiales al sitio de trabajo, a raíz de su lejanía.
- Los factores que afectan la estructura de pavimentos suceden principalmente en el último subproceso que es la colocación de la carpeta, esto debido a los malos procedimientos usados, como aumentar el ancho o los espesores a colocar, ya que los sobre anchos se pueden cobrar, aunque generan un atraso, pero los sobre espesores no ya que no son comprobables por lo que se pagan solo lo que está en cartel.
- El desconocimiento del AyA de red de tuberías es una afectación directa a la colocación de tubería, ya que la aparición de estas causan que el trabajo pase a ser manual en lugar de poder utilizar maquinaria o en caso de que se genere una fuga a causa de esto son trabajos extras que retrasan las labores.
- La colocación de pozos se está viendo afectada por problemas externo a la metodología constructiva, la falta de coordinación o la poca maquinaria destinada a la actividad están atrasado la actividad.
- Los retrabajos afectan el cronograma y el presupuesto, ya que son procesos que no están contemplados y se deben reusar recursos como mano de obra, equipo y materiales no planificados.
- La lluvia no fue un factor importante identificado en esta investigación, debido a que fue realizada en época seca. Por el tipo de trabajo, esta puede llegar a afectar por lo que la empresa debe buscar una solución a este problema.

# Recomendaciones.

- Al tener una cantidad limitada de maquinaria se recomienda a proveeduría, departamento encargado de a maquinaria, que exista un plan o una metodología de manejo de maquinaria para que todas las actividades puedan ser desarrolladas según la planificación.
- Implementar por parte de los ingenieros la hoja de control a toda la empresa para que se pueda llevar un control de todas las actividades que desarrolla la empresa.
- Se recomienda departamento de ingeniería medir la productividad de las actividades para determinar nuevos rangos de mejora, además de conocer cuáles son los verdaderos rendimientos para poder generar presupuestos más precisos.
- Se recomienda a la gerencia de cada proyecto de la empresa medir cuánto dinero entra cuanto sale a nivel general de los proyectos para que siempre este claro si estos están siendo ruinosos o gananciosos.
- Para la empresa a nivel general los proyectos deberían ser independientes y no consumir los recursos de otros proyectos con el fin de que no se afecten entre ellos.
- Se recomienda a los encargados de realizar las licitaciones estar claro con todas las solicitudes por parte de los regentes ambientales y sociales del

cliente, para así evitar apercibimientos o multas.

# Referencias

- Clements, J.P. & Gido, J. (2012). *Administración exitosa de proyectos*. Recuperado de [http://archivos.itjgdl.edu.mx/Otros/Administracion\\_exitosa\\_de\\_proyectos.pdf](http://archivos.itjgdl.edu.mx/Otros/Administracion_exitosa_de_proyectos.pdf)
- Díaz, J.E. & Porras Moya, D.A. (2015). *La planeación y ejecución de las obras de construcción dentro de las buenas prácticas de la administración y programación*. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia). Recuperado de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2951/4/LA%20PLANEACIÓN%20Y%20EJECUCIÓN%20DE%20LAS%20OBRAS%20DE%20CONSTRUCCIÓN%20DENTRO%20DE%20LAS%20BUENAS%20PRÁCTICAS%20DE%20LA%20ADMIN.pdf>
- Contraloría General de la Republica. (2018). La licitación. Recuperado de <https://www.cgr.go.cr/02-consultas/pf/ca/ca-proced-ordinarios.html>
- Procuraduría General de la Republica. (1 de mayo de 1995). Ley de Contratación Administrativa. (Ley 7494 de 1995). Recuperado de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=24284&nValor3=95769&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=24284&nValor3=95769&strTipM=TC)
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Recuperado de <https://qualitasbiblo.files.wordpress.com/2013/01/libro-herramientas-para-la-mejora-de-la-calidad-curso-unit.pdf>
- Romero Martinez, A & Echeverria Coll, A.C. (s.f.). Inspección, dirección y supervisión de obras civiles, Control de obras de concreto. Recuperado de [http://www.academia.edu/1790946/INSPECCIÓN\\_DIRECCIÓN\\_Y\\_SUPERVISIÓN\\_DE\\_OBRAS\\_CIVILES\\_CONTROL\\_DE\\_OBRAS\\_DE\\_CONCRETO](http://www.academia.edu/1790946/INSPECCIÓN_DIRECCIÓN_Y_SUPERVISIÓN_DE_OBRAS_CIVILES_CONTROL_DE_OBRAS_DE_CONCRETO)
- Fundación Iberoamericana de Altos Estudios Profesionales. (2014). Control y manejo de inventario y almacén. Recuperado de <http://fiaep.org/inventario/controlymanejoeinventarios.pdf>
- Ballard. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Recuperado de [http://www.academia.edu/18030334/Book\\_Last\\_Planner\\_System\\_español](http://www.academia.edu/18030334/Book_Last_Planner_System_español)
- Navarro Albert, E., Gisbert Soler, V. y Pérez Molina, A.I. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. 3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, Edición Especial, 73-80. doi: <http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.73-80/>
- Coghi, J. 2016. Programa de Proyecto. Curso de Programación de Proyectos. Programa de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica.

Lean Constution Institute (2018). *What is Lean Design & Construction* Lean Construction Institute. Lean Construction Institute. Recuperado de <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. (2007). *Manual Técnico de inspección de Obras*. Recuperado de [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070314093811.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070314093811.aspx)